Große Naturforscher

Von Philipp Lenard

J. F. Lehmanns Verlag München

P. Lenard

Große Naturforscher.

Große Naturforscher

Eine Geschichte der Naturforschung in Lebensbeschreibungen

Von

Philipp Lenard

Heidelberg

> Aller Fortschritt und alle Kultur der Menschheit sind nicht aus der Majorität geboren, sondern beruhen ausschließlich auf der Genialität und der Tatkraft der Persönlichkeit.
>
> Der Führer.

Sechste Auflage · Mit 70 Bildnissen

J. F. Lehmanns Verlag / München 1943

Druck von Kastner & Callwey in München

Vorwort und Einleitung.

Schon lange war es mein Wunsch gewesen, das, was ich von früh an vom Leben und in den Werken der Naturforscher gelesen hatte, zu umfassenderen historischen Studien zu ergänzen, wenn ich nur erst in dem Unterfangen, selbst Naturforscher zu sein, mir einigermaßen Genüge getan hätte. Allmählich kam die Zeit dazu, und je mehr ich mich in die Werke und in das Leben der großen Forscher vertiefte, desto mehr schien es mir, daß darin noch viel zu tun sei gegenüber dem, was bisherige Darstellungen über Geschichte der Naturforschung boten. Am meisten fiel mir besonders in neueren Schriften ein Mangel an jenem Verstehen der großen Forscher auf, das sich mir bei Kenntnis auch ihrer Lebensschicksale und ihres Verhaltens diesen gegenüber zu eröffnen schien; ich fand, daß diese Forscher — oder doch nicht wenige Besondere unter ihnen, die Erfolgreichsten, — noch weit höher über das Mittelmaß menschlicher Beschaffenheit hinausragten, als die verbreiteten Darstellungen es scheinen lassen. Meine Freude darüber, daß diese Persönlichkeiten der Größe ihrer Werke so standhalten, daß sie als ganze Vorbilder künftiger Forscher und zugleich als menschliche Vorbilder überhaupt dastehen dürfen, war groß, und ich dachte, auch Andere daran teilnehmen zu lassen, sobald meine Studien so weit gediehen wären, daß ich nicht nur Alles genügend verbürgt sagen könnte, sondern daß auch ein Gesamtbild der Entwicklung der Naturwissenschaft entstünde, in welches die einzelnen Forscher so sich einreihten, wie sie und ihre Werke wirklich sich entwickelt hatten. Dazu war planmäßiges Studium nicht nur in den vorhandenen Geschichtswerken der Naturforschung[1]), sondern weit mehr noch in den Werken der Forscher selbst notwendig; ja es war vor allem auch nachzuprüfen, welche Forscher überhaupt die Reihe der Großen bilden, an deren Tätigkeit die Kenntnis der Natur am hervorragendsten sich entwickelt und gesteigert hat. Bei solchem Studium der Werke hervorragender Forscher zeigte sich häufig, daß dieselben weit mehr geleistet hatten, als ihnen gewöhnlich zugeschrieben wird. Je reicher der Inhalt eines solchen Wer-

[1]) Von den allgemeineren Geschichtswerken habe ich die von Poggendorff, Gerland, Rosenberger, Heller, Mach (Mechanik, Optik, Wärmelehre), Dühring (Mechanik), Kopp (Chemie), Cantor (Mathematik) benutzt, sowie auch Geschichtswerke der Zoologie, Botanik und Biologie. Werke, die einzelne Forscher oder Zeitalter betreffen und die mir als Quellen dienten, finden sich an den betreffenden Stellen des Textes angemerkt.

kes ist, desto mehr davon scheint im Laufe der Zeit — bei der Geschichtschreibung und in Lehrbüchern — vergessen worden zu sein, oder vielmehr wurde es Anderen zugeschrieben, die später mit dem Gegenstand, ins Breite gehend, sich beschäftigt hatten, als er nicht mehr neu war. Es ist aber doch kein Zweifel, wer der Urheber des Neuen war, wenn eine Kenntnis unerwartet und doch zugleich schon möglichst gesichert dargelegt sich findet, die bei Vorgängern keineswegs etwa schon fast bereit lag. Zu Forschern, bei welchen dies zutrifft, stehen im Gegensatz andere, deren Werke beim Nachlesen enttäuschen; sie bringen weniger als das, was gewöhnlich ihnen zugeschrieben wird. Man merkt, wenn man auch von ihren Vorgängern Kenntnis hat, daß sie allzuviel diesen verdanken; in anderen Fällen haben sie, ohne selbst wesentlich um den Gegenstand bemüht gewesen zu sein, bloße Behauptungen aufgestellt, die nur deshalb nicht vergessen wurden, weil Andere durch den zugehörigen Aufwand von Geist und Mühe Ähnliches als der Wirklichkeit entsprechend nachwiesen, ohne deren Arbeit aber doch nur billige Vermutung, nicht Wahrheiterkenntnis da wäre. Es ist erstaunlich, wie gewisse Einschätzungen in der Wissenschaftsgeschichte, die gegenüber kundigem Urteil nicht standhalten können, mit anscheinender Unausrottbarkeit sich fortgepflanzt haben. Ich habe gesucht, durch Nachlesen der Original-Literatur dem ganz zu entgehen.

Geht man in dieser Weise den Ursprüngen der Erkenntnis nach, so trifft man auf eine weit geringere Zahl von Namen, als gewöhnlich in Geschichtswerken, sogar auch in kleineren, aufgezählt und behandelt werden, wo mehr das Streben nach Nennung einer Höchstzahl von Personen als das allerdings mehr Mühe und Urteil erfordernde Zurückgehen auf die Ursprünge maßgebend erscheint. Da im Vorliegenden die großen Forscher behandelt werden sollten, mußte aber gerade jenes Zurückgehen die Hauptsache sein; auch kam es darauf an, aus der Gesamterkenntnis von der Natur diejenigen Kenntnisse abzusondern, die im Weltbild des Naturforschers wesentlich sind oder die für die Entwickelung dieses Weltbildes wesentlich waren, mit Beiseitelassung der großen Fülle zwar nicht unnützlicher, aber doch eben in dieser Hinsicht entbehrlich gewesener Einzelkenntnisse. Denn als großer Naturforscher ist doch nur derjenige zu bezeichnen, der ganz Neues, für die Erkenntnis der Natur, für das Weltbild und die Stellung des Menschen in der Natur Wesentliches oder wesentlich Gewordenes beigebracht hat. Das Vorliegende bietet Gelegenheit, die Probe darauf zu machen, daß trotz der Einschränkung in der Zahl der namhaft gemachten Forscher doch keiner fehlt, bei dem irgendwelche solche Hauptkenntnis ihren Ursprung genommen hat. Denn es findet sich bei jedem der Forscher alle ihm zu dankende neue Erkenntnis behandelt, oder doch erwähnt, und es kommt dabei trotz der ge-

ringen Zahl von Namen doch die gesamte weltanschaulich wesentliche Naturerkenntnis zur Sprache, so daß man hier ebensowohl eine in historischer Folge fortlaufende Darlegung der Entwickelung dieser Naturerkenntnis findet, als auch die Lebensschilderungen der Forscher, denen die Kenntnis zu danken ist.

Die Namen der hervortretendsten großen Forscher, um welche die ganze Darstellung gruppiert ist, geordnet nach der Zeitfolge und nach der Zusammengehörigkeit ihrer Hauptleistungen, sind im vorangestellten Inhaltsverzeichnis zu sehen; sie sind ausgewählt nach der Ursprünglichkeit und der allgemeinen Wichtigkeit ihrer Leistungen, nach der Größe der inneren und äußeren Schwierigkeiten, welche sie den Umständen der Zeit nach zu überwinden hatten und schließlich auch nach den aus dem allgemeinen Charakter der Persönlichkeit zu erkennenden Zeichen geistiger Größe. Wichtige Arbeiten einiger anderer Forscher oder an der Forschung Beteiligter werden anschließend betrachtet; das vollständige Namen-Verzeichnis findet sich alphabetisch am Schluß.

Einer besonderen Bemerkung bedarf die zeitliche Begrenzung des Stoffes in bezug auf Erstreckung in die Gegenwart hinein. Daß lebende Forscher außer Betracht blieben, ist selbstverständlich; aber auch darüber hinaus mußte noch einiger Zeit-Abstand eingehalten werden, wenn es gelingen sollte, eine Reihe so gut wie möglich gleichmäßig betrachteter Forscher hinzustellen. Ich hatte mir vorgenommen, den großen Krieg[1]) als zeitliche Grenze gelten zu lassen, so daß kein Forscher genannt würde, der den Krieg überlebt hat. Dies zeigte sich auch gut durchführbar, ohne den behandelten Stoff zeitlich zu begrenzen und die neuere Entwicklung der Kenntnis ganz auszuschalten. Es konnte diese Fortentwickelung — ganz entsprechend ihrem Ursprung — im Anschluß an die Arbeiten der jüngsten noch betrachteten Forscher so weit genügend berührt werden, daß doch von der Gesamtheit der gesicherten Naturerkenntnis kein sehr wesentlicher Teil fehlt. Zwei Ausnahmen waren allerdings bezüglich der Zeitgrenze zu machen: Van der Waals und Crookes, deren Todesjahr infolge des ausnahmsweise hohen Alters, das sie erreichten, nach Kriegsende fällt, durften doch nicht wegbleiben, da sie zur selben Zeit arbeiteten wie die übrigen, nahe gleichalterigen, ganz in die Zeitgrenze fallenden Forscher.

Sind mir die großen Forscher, deren Werke ich stets bewunderte, immer schon seit ich auch ihr Leben kennen lernte, als ebenso verehrungswürdig wie überragend, dabei aber doch, erst dunkel und später deutlicher, wie Verwandte erschienen, so freue ich mich nun, ihnen hier vielleicht ein kleines Denkmal gesetzt zu haben, das sie nicht verachten würden. Es ist auch wohl Zeit hierzu. Denn die Zahl Derjenigen, die der Denk-

[1]) Es ist hier der Krieg 1914—1918 gemeint.

weise dieser Forscher zu folgen vermögen, scheint gegenwärtig sehr im Abnehmen zu sein; und doch hat sich keine andere Denkweise zu Mehr geeignet gezeigt, als nur zu Augenblickserfolgen oder zu Verblüffungen oder bestenfalls zur Abschließung von schon gründlich Begonnenem. Ja die Denkweise dieser Naturforscher ist es allein, die auch zur Entwirrung der Fragen der Geisteswissenschaften wird führen können; denn auch diese Fragen betreffen Naturvorgänge, und die Natur ist in Allem Eins. Diese Denkweise muß also in Erinnerung behalten, wieder gepflegt und neu belebt werden, und dazu kann nichts besser beitragen als die Pflege des Gedenkens dieser Forscher selbst. Dem genügend tief Blickenden kann es nicht verborgen sein, daß unter den menschlichen Geistes-Errungenschaften nichts zweifelsfreier gefestigt, nichts so dauernd gleichmäßig brauchbar dasteht, als eben die Errungenschaften dieser Forscher. Die letzten 15 Jahre haben Allen, die Erlebnisse nicht ohne tiefere Gedanken hinnahmen, Vieles, was früher genügend erkannt und in der Vorstellung feststehend erschien, in verändertem Licht als zweifelhaft und zuletzt als irrig gezeigt. Eine veränderte Weltanschauung mit neuen Erkenntnissen ist aufgekommen. Jene Forscher und ihre Beiträge zur Weltanschauung sind dabei aber geblieben, was sie schon waren; ja das Ansehen und die Bedeutung dieser Forscher muß sogar erhöht erscheinen, indem sich nun erst besonders gut zeigt, wie viel mehr fern von Fehlgedanken sie waren — die besonderen Bahnbrecher unter ihnen am meisten — als ihre Zeitgenossen.

Die neuen Erkenntnisse haben auch die Zusammengehörigkeit der großen Forscher, die ich im Vorliegenden allein nur aus der Art ihres Denkens, Wollens und Arbeitens und nach ihrem gesamten geistigen Verhalten ersichtlich mache, von ganz anderer Seite her — als eine körperliche Verwandtschaft — erkennbar gemacht. Es ist jetzt weniger zu bezweifeln als je, daß ein Galilei, Galvani und Volta, ein Newton, Black, Cavendish, Dalton, Davy, Faraday und Darwin, ein Fresnel und Carnot mit einem Kepler, Scheele, Robert Mayer und Bunsen und auch einem Pythagoras und Archimedes so zusammengehören, wie das vorliegende Buch sie hinstellt.

Wer empfänglich für Bildnisse ist, betrachte die Beigaben dieses Bandes; sie werden ihm dasselbe sagen, was der Text aus dem Leben und dem Wirken bringt, nur wohl noch viel feiner, als ich es zu sagen vermochte. Nimmt man die Bildnisse der umfassendsten Schöpfer neuer Erkenntnisse für sich — die unter den soeben Genannten sich finden —, so gibt, meine ich, ihre Betrachtung eine Erbauung, eine Versenkung in eine Welt gereinigteren, naturgemäßeren Denkens, welche dem heutigen Alltag und auch dem, was heute als Naturwissenschaft oft angepriesen wird sehr fern ist, eine Welt, aus welcher aber eben jene Forscher selbstlos

alles geholt haben, was — wie der Text zeigt — Grundlage aller heutigen technischen Errungenschaften ist. Es bleibt dabei kein Zweifel, daß diese Forscher nur wenig an diesen Errungenschaften der „Zivilisation" Befriedigung finden würden, sofern dieselben nicht wirklich das Leben verschönen, sondern daß sie viel mehr nach Fortschritten der Gesittung, der „Kultur" suchen würden, welche mittelst ihrer Denkweise, wie mittelst ihrer Errungenschaften sich hätten ergeben können. Solche Fortschritte können noch immer sich entwickeln, wenn die Denk- und Arbeitsweise dieser Forscher begriffen wird und zur Geltung kommt, — besser als es bisher geschehen ist. Möchte es mir gelungen sein, dazu etwas beigetragen zu haben.

Daß das Buch in würdiger Ausstattung erscheint, dies ist dem Herrn Verleger zu danken, der mich in jeder Beziehung, besonders auch bei der Ausstattung mit den Bildnissen wesentlich unterstützt hat.

Dem Deutschen Museum München verdanken wir Bild 4, 10, 24, 29, 31, 33, 42, 46, 64, 70.

Aus dem Corpus Imaginum der Photogr. Gesellschaft sind entnommen: Bild 7, 12, 16, 19, 22, 30, 34, 35, 37, 38, 44, 45, 49, 55, 57, 60, 62, 63, 69. Bild 17, Newton (S. 94) stammt aus Brewster's Biographie von Newton.

Bild 36 Davy (S. 175) ist nach dem Gemälde von Thomas Lawrence hergestellt, auf Grund eines Stiches, der in Davy's Denkwürdigkeiten, herausgegeben von seinem Bruder, enthalten ist. Bild 48, Faraday (S. 229) und Bild 53, Tyndall (S. 253) haben Zeichnungen von George Richmond zum Original. Bild 50, Faraday mit dem „schweren Glas" (Tafel), ist aus dem Werk „Life & Letters of M. Faraday" von Bence Jones entnommen. Bild 51, Weber (S. 240), stammt aus Zöllner's Gedenkwerk für Weber. Bild 52, Mayer (S. 252), ist aus Weyrauch, „R. Mayer, zur Jahrhundertfeier seiner Geburt", Verlag Wittwer in Stuttgart, entnommen. Bild 6 verdanken wir dem Verlag Bruckmann in München.

Dank sei auch Allen gesagt, die sonst, beim Sammeln von Lebensdaten und Bildnissen geholfen haben, ebenso zuvor schon Allen, die vielleicht zu künftigen Verbesserungen, wo nötig, weiter helfen wollen.

Heidelberg, im Januar 1929.

Zur zweiten Auflage freue ich mich, den zuvor schon ausgesprochenen Dank für Ratschläge und Hilfe zu Verbesserungen und Vervollständigungen jetzt nach vielen Seiten hin wiederholen zu können. Ich habe alles, was gedruckt oder in Briefen mir zugekommen ist — soweit genügende Anhaltspunkte gegeben waren und die kurze Zeit es gestattete — eingehend überlegt und danach viele Einzelverbesserungen vorgenommen. Oft betrafen dieselben nur die Form des Ausdruckes, möglichst zugunsten noch leichterer Lesbarkeit. Manche Angaben konnten ergänzt und einige der Lebensschilderungen nach neueren Ermittelungen verbessert werden. Auch wurde das bisher vermißte Bildnis Coulombs eingefügt, das freundliche Bemühung sowie des Herrn Verlegers Fürsorge beigebracht haben, und gute Bildnisse von Linné und Mendel, auch ein neues von Leonardo kamen hinzu. Nur um Mariotte's Bildnis waren alle Bemühungen, besonders auch von seiten des Verlages, die bis an die einzelnen Orte der Tätigkeit dieses von seinem Zeitgenossen sonst keineswegs vernachlässigten Forschers sich erstreckten, vergeblich geblieben. Er scheint nun das Schicksal der großen Forscher des Altertums zu teilen, daß sein Äußeres uns unbekannt bleibt.

Den Anregungen, den Kreis der betrachteten Forscher zu erweitern, habe ich mich nicht entschließen können zu folgen. Eher hätte ich den Kreis einschränken dürfen, um den vorher schon angegebenen Gesichtspunkten der Auswahl bestens zu genügen, oder es hätten einige der mit in den Vordergrund gestellten Forscher mehr nebenher betrachtet werden dürfen. Doch sieht der Leser dieses selbst aus dem Vorgebrachten. . . .[1])

Heidelberg, im November 1929. P. L.

Die dritte Auflage ist mit völliger Beibehaltung des in der vorangestellten Einleitung geschilderten Grundplanes wieder in vielen Einzelheiten verbessert worden. Neu zugänglich gewordene, die einzelnen Forscher betreffende Kenntnisse sind eingefügt und manche Erläuterungen vielleicht noch leichter verständlich gemacht.

Mehrere Bildnisse — besonders Tycho, Torricelli, Snell und Priestley — sind vorteilhaft erneuert worden; wir verdanken das erstere Herrn Bibliothekar Mortensen in Kopenhagen, das zweite Professor Dr. E. N. da C. Andrade, dem Herausgeber der englischen Übersetzung des Werkes. Auch Allen, die zu Textverbesserungen geholfen haben, sei hier nochmals Dank gesagt.

Heidelberg, im September 1936. P. L.

[1]) Die mit überlegter (am fortgelassenen Schlusse dieser Vorbemerkung begründeter) Beschränkung behandelten Biologen sind seither in einem besonderen Werke eingehend gewürdigt worden: „Große Biologen" von E. Almquist (J. F. Lehmann's Verlag 1931).

Zur vierten Auflage sind wieder inzwischen erfolgte biographische und historische Neuerscheinungen zu Vervollständigung benutzt worden. Wissenschaftliche Fortschritte der letzten Zeit sind eingefügt, soweit sie allgemeinere Gesichtspunkte betreffen, entsprechend dem Programm, daß mit den großen Forschern zugleich das Erforschte geschildert werden soll als Ergebnis ihres Lebens und der Tätigkeit ihrer Nachfolger. Einige Teile von weniger allgemeinem Interesse habe ich gekürzt.

Die Auflage wird zur Zeit des zweiten großen Krieges vorbereitet, den England über uns gebracht hat, um womöglich seine Macht durch unsere, im vorigen Krieg schon fast erreichte Vernichtung zu erhöhen. Wer die Reihe der großen Naturforscher kennt, in der Engländer wie Deutsche seltenen, hervorragenden Geistes sich finden, wird in diesem Beginnen Englands eigenen geistigen Verfall sehen. Englands Eroberergeist hatte Berechtigung, solange es noch einen Newton, einen Faraday hervorbrachte und beherbergte; das England der letzten Zeit hat diesen Geistern keine entsprechenden Nachfolger zu geben vermocht. Dieser Blick in die Gegenwart braucht uns aber die in diesem Buch gepflegte Freude an den Großen der Vergangenheit nicht zu verderben. Deren Größe war nordisches Erbteil; sie kann immer wieder erstehen, da und dort, wo körperlicher und geistiger Rasseverfall es nicht verhindern.

Noch ein Ereignis fällt in die Zeit dieser Auflage. Es betrifft einen der größten deutschen Naturforscher: Hundert Jahre werden es bald sein, seit Julius Robert Mayer, der Heilbronner Arzt, das Gesetz von der Erhaltung der Energie gefunden, begründet und kundgegeben hat. Eine neue Denkrichtung war damit der Naturforschung und bald auch den Praktikern gegeben, eine neue Art, das Naturgeschehen zu verfolgen, zu beurteilen, zu verstehen. Sie hat sich als gänzlich untrüglich erwiesen; kein Naturforscher, kein Techniker möchte sie mehr entbehren. Es ist bei jedem zu beurteilenden Naturvorgang heute stets vor allem die Frage: was das Energiegesetz dazu zu sagen hat; danach erst geht man auf Einzelheiten ein. Es ist das tiefst eindringende Naturgesetz. Dementsprechend geht seine Bedeutung auch noch viel weiter als nur zu wichtigen Anwendungen. Die letzten Jahrzehnte dieses 1842 von J. R. Mayer eröffneten Jahrhunderts neuer Naturerkenntnis haben gezeigt, daß Energie, deren Mengenunveränderlichkeit das Gesetz angibt, nicht bloße Rechnungsgröße ist. Sie ist Naturgegenstand, der Masse und Gewicht besitzt; sie ist sogar alles, was Masse und Gewicht hat; auch die Massen und Gewichte der greifbaren Materie sind nur Massen und Gewichte der in den Atomen enthaltenen Energiemengen. Energie tritt damit vor dem geistigen

Auge des Naturkundigen an die oberste Stelle unter den sinnlich gut erfaßbaren Dingen der Welt. Die grob erfaßbare Materie ist nur Sonderfall stark konzentrierter Energie. Der schwerer erfaßbare Äther zeigt sich als Anhängsel aller Energie. Es sind das Ergebnisse, die noch weiterer Verfolgung und Prüfung unterliegen. Ihre Besonderheit fordert aber gerade jetzt, da mit 1942 der Abschluß des Jahrhunderts solcher tiefgehender Erkenntnisse bevorsteht, zu erneutem Gedenken des Wegbereiters heraus, und es ist wohl anzunehmen, daß ganz Großdeutschland daran in geeigneter Weise teilnehmen wird, um so mehr, als Mayers Zeitgenossen ihn schwere Versäumnisse haben fühlen lassen.

Der Verlag will diese Auflage, um das Gedenken auch äußerlich zu zeigen, mit J. R. Mayers Bildnis geziert erscheinen lassen.

Heidelberg, im Herbst 1940.

P. L.

Die fünfte Auflage ist gegenüber der vierten nur wenig geändert. Biographische Neuerscheinungen sind wieder berücksichtigt und benutzt worden.

Heidelberg, im Frühjahr 1942.

P. L.

Inhalt.

Verzeichnis der Vollbilder.

Große Naturforscher und ihr Werk.

Pythagoras aus Samos
(etwa 570 v. Chr. bis etwa 496 v. Chr.),

dessen geometrischer Lehrsatz allbekannt ist und der auch schon den Wohlklang der Töne von gleichgespannten Saiten einfacher Längenverhältnisse kannte, ist der früheste Forscher, von dem so bestimmte Erkenntnisfortschritte, verbunden mit dem Namen, überliefert sind. Er war es, der nicht nur in diesen Fortschritten, sondern ganz allgemein schon so früh das Wesentliche des Zahlenmäßigen (Quantitativen) für alle Naturerkenntnis zum Ausdruck brachte und hervorhob. Er war Meister einer großen Schule, die der Pflege der Sittenreinheit zurückliegender Zeiten gewidmet war. Dieser Schule war schon der Gedanke der Kugelgestalt und der täglichen Drehung der Erde eigen. Man kann daraus ermessen, wie weit diese Zeit in unbefangenem, Naturerkenntnis förderndem Denken vorangeschritten war; noch 2000 Jahre später kämpfte Galilei um denselben Gedanken der Drehung der Erde und zwar nicht etwa gegen berechtigte Zweifel in der Sicherheit der Erkenntnis, sondern ganz gegen die übermächtige Willkür mindereindringender, offenbar minderwertiger Geister! Und doch muß schon Pythagoras' Zeit Verfallsbeginn einer vorangegangenen, in historisches Dunkel versunkenen Kulturblüte gewesen sein; denn eben auf die Rettung vergangener Größe war seine Schule eingestellt. Dieser Verfall gibt sich nicht nur in Pythagoras' und seiner Schule gewaltsamem Ende, später in Sokrates' schmählicher Verurteilung und in Platon's vergeblichen Bemühungen kund, sondern erst recht in dem dann folgenden, tausendjährigen Untergang alles großen Erkenntnisfortschreitens.

Vor dem Hereinbrechen dieser toten Zeit ragen noch drei große Gestalten als Naturforscher hervor: Euklid, Archimedes, Hipparch.

Euklid
(330 [?] v. Chr. bis 280 v. Chr.)

tritt als erster umfassender Ergründer des Raumes auf, in dem wir leben, des dreifach bemessenen (drei-dimensionalen), mit all seinen Eigenschaften und denen der Gebilde, die in ihm möglich sind. Er ist der Be-

gründer alles Wesentlichen der Geometrie (Raumlehre). Zugleich ist er aber auch Begründer der heutigen Elementarmathematik. Er hat sich auch der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes bereits versichert und hat das Spiegelungsgesetz des Lichtes erkannt. Manches davon ist freilich nur aus leider teilweise zweifelhaften Resten seiner Werke zu ersehen; auch von seinen Lebensumständen ist kaum Sicheres überliefert, und kein Bildnis ist von ihm vorhanden. So kann nichts Längeres hier gesagt werden.

Auch von

Archimedes

(287 v. Chr. bis 212 v. Chr.)

gilt dies fast ebenso. Doch sind seine Schriften besser erhalten. Man weiß daraus, daß er bereits einen brauchbaren Begriff von Kräften besitzt für den Fall, daß sie keine Bewegung hervorbringen, d. i. für den Fall des Gleichgewichts mehrerer Kräfte („Statik"). Er ergründet die Bedingungen dieses Gleichgewichts, wenn die Kräfte an festen Körpern angreifen und entwickelt so das auch praktisch wichtige Kapitel von den Maschinen. Hebel und Flaschenzüge wurden zu fast beliebig gesteigerter und zum voraus angebbarer Kraftvervielfältigung verfügbar, wovon auffallende Beispiele des Erfolges, wie etwa die Hebung schwerer Schiffe, berichtet werden. Die Archimedische Schraube wird heute noch nach ihm benannt. Auch die Kenntnisse vom Schwerpunkt, welche verstehen und voraussagen lassen, was die eigene Schwere eines festen Körpers bei gegebener Unterstützungsweise an ihm bewirken kann, hat Archimedes entwickelt. Nicht minder ist er auch der Begründer der Lehre vom Gleichgewicht flüssiger Körper („Hydrostatik"); das Archimedische Prinzip vom Auftrieb in Flüssigkeit getauchter fester Körper, maßgebend auch für das Gleichgewicht beim Schwimmen, ist in vielfacher exakter Anwendung fortdauernd bewährt. Sein Werk „Über schwimmende Körper" bietet eine Fülle fein durchdachter Einzelheiten; auch der Begriff des Spezifischen Gewichts, der Dichte, ist hier bereits festgelegt.

Auch Geometrie und Mathematik hat er weitgehend gefördert. Von ihm rührt die Berechnungsweise des Kreisumfanges her, mittels Einengung in Grenzwerte zwischen eingeschriebenen und umschriebenen Vielecken mit stets verdoppelter Seitenzahl vom 6-Eck an. Es ist dies das Verfahren, welches mit beliebiger Genauigkeit die später mit dem Buchstaben π bezeichnete Zahl gibt. Ebenso hat er die später allein schon für die Astronomie so wichtig gewordenen Kenntnisse von den Kegelschnitten entwickelt, dabei auch die Flächenberechnung von Ellipse und Parabel, die Raumberechnung der Kugel und anderer Raum-

gebilde. Auch ist die von ihm untersuchte Archimedische Spirale bekannt. Tiefgehend ist die von ihm zum erstenmal ausdrücklich erfaßte Erkenntnis des Unendlichen — im Vergleich zu nur Großem —, wovon seine Schrift über die „Sandzahl" so deutlich Zeugnis gibt.

Hipparch aus Nicaea

(160 v. Chr. bis 125 v. Chr.)

war der früheste große messende Himmelsbeobachter. Auch von ihm ist kein sichergestelltes Bildnis erhalten. Er verfolgte durch Visierungen an Winkelmessern den Lauf von Sonne, Mond und Planeten, leitete daraus wesentlich verbesserte Werte der Jahreslänge, der Schiefe der Ekliptik, der Neigung der Mondbahn ab, entdeckte die doch nur sehr geringe Ungleichheit der wahren Sonnentage, die Präzession (das Voranschreiten) der Tagundnachtgleichen und erkannte, daß die Entfernungen der Sonne und des Mondes von der Erde veränderlich sind. Er suchte diese Entfernungen auch festzustellen, ausgedrückt in Erdhalbmessern, was ihm beim Mond sehr gut gelang, bei der Sonne allerdings, da die für so große Abstände nötige Genauigkeit nicht erreichbar war, viel zu wenig, aber doch ganz richtig sehr viel mehr als beim Mond ergab. Sein Sternkatalog enthält die Örter von über 1000 Fixsternen. Er begründete mit all dem geradezu die messende Astronomie, worin er erst spät durch Tycho übertroffen wurde und wodurch er auch die Grundlage schuf, auf welcher Kopernikus baute. Seine Lebensumstände sind unbekannt; selbst seine Errungenschaften sind fast nur durch den späteren Ptolemaeos überliefert.

Nach diesen Großen folgt die mehr als anderthalb Jahrtausend lange für die Naturforschung — für Erkenntnis-Förderung überhaupt — so gut wie tote Zeit (etwa 100 v. Chr. bis etwa 1500 n. Chr.), aus welcher auch nicht Einer von gleicher Höhe zu nennen ist[1]). Man hatte verlernt, Raum und Zeit zu beachten und mit ihnen und den Vorgängen in ihnen zu denken. Ganz offenbar fehlten die Menschen dazu; sie waren verloren gegangen, nicht mehr geboren worden. Wieso? Man kann jetzt wohl als festgestellt betrachten, daß die Urheimat der Geeigneten der Norden Europas gewesen ist, wo sie in vielen Geschlechterfolgen in der harten Schule der Eiszeit sich vorgebildet hatten. Von daher waren die alten Griechen gekommen, die dann im Süden Muße und Beschaulichkeit zu einer Entwicklung fanden, die in Pythagoras,

---

[1]) Was aus jener Zeit berichtet und meist den Arabern zugeschrieben wird, entfällt hier, da wir nur erhebliche, wesentliche Fortschritte der Naturerkenntnis betrachten wollen. — Auch für die Kunst ist eine tote Zeit zu verzeichnen; doch erreichten Baukunst und Dichtung viel früher neue Höhen als die Naturforschung.

Euklid, Archimedes und ihren ebenbürtigen Zeitgenossen auch der Kunst gipfelte. Aber die Nachkommen begannen zu versagen. Es war — soweit alle gegenwärtige Erkenntnis geht, ist dies anzunehmen —, ihr Bluterbe nicht weiter entwickelt, sondern durch die eingedrungene asiatische und afrikanische Beimischung übel und zuletzt hoffnungslos verdorben worden[1]). Hatte doch schon Pythagoras für Wiederherstellung der Sittenreinheit vergangener Zeiten zu kämpfen gehabt. Es mußten erst neue Menschen aus dem Norden, der einzigen irdischen Heimat der Lichtsucher und Lichtbringer, nach dem Süden kommen; außerdem konnten solche auch allmählich in ihrer Urheimat selbst, vielleicht unterstützt durch eine Milderung des nordischen Klimas und das Fortschreiten der Hilfsmittel gegen die Naturgewalten, neu sich herausbilden.

Die jahrtausendlange Zwischenzeit der nicht mehr Befähigten und der erst allmählich neu gedeihenden Geschlechterfolgen war in bezug auf Naturwissenschaft und auf nennenswerte Geistestätigkeit überhaupt gekennzeichnet durch das fruchtlose Hinstarren auf zwei überlieferte Schriften: Aristoteles und die Bibel; beide gänzlich falsch gewertet, beziehlich mißverstanden[2]), außerdem durch schroffe Mächte jedem aufkommenden Versuch von Kritik wirksam entzogen — was bei der damals nicht unmittelbaren Zugänglichkeit dieser Schriften um so leichter war — und daher äußerst schädlich wirkend. Es war geradezu alles, was damals geschah — auch was schon kräftige Zeichen neuen Gedeihens nachweist — in dieser Weise übel gelenkt und dadurch einer kulturfördernden Wirkung beraubt worden. Man denke z.B. an die jahrhundertlange Irreleitung von Heldensinn in den Kreuzzügen.

---

[1]) Daß der körperlichen Rassen-Schande eine geistige Verseuchung vorausgegangen sein mußte, ebenso daß ein Übermaß von Kriegen mitgewirkt hat, ist nicht zu bezweifeln, ändert aber nichts am obigen.

[2]) Für die Bibel gilt dies für die Allgemeinheit bis heute noch. Nur die Naturwidrigkeiten in ihrer Auffassung sind geschwunden, indem man über buchstäbliche Deutung hinwegkam; Geschichtswidrigkeiten und Lebensgesetzwidrigkeiten wirken aber noch weiter fort. Denn es sind in diesen Schriften Teile höchsten Wertes zusammengewürfelt mit Minderwertigkeiten ganz anderen Ursprungs, und man hat sich immer noch gescheut, dies allgemein ersichtlich zu machen. Der hierdurch entstandenen Irreführung der geistigen Einstellung sind zu Zeiten völliger Unkenntnis der Zusammenhänge auch Naturforscher höchsten Ranges, wie Kepler und Newton, in gewissen Teilen ihrer Schriften, als vertrauensvolle Sucher in der Geisterwelt, verfallen. So Kepler beispielsweise, wenn er in der Einleitung zum V. Buche der „Zusammenklänge" in der Freude über einen großen Erfolg unschuldig von sich sagt: „Ja! Ich habe die goldenen Gefäße der Ägypter gestohlen . . .". Oder Newton, wenn er in seinen spätesten Schriften den genauen Bau des zerstörten Judentempels zu Jerusalem, als etwas, das Menschen seiner Art unbedingt teuer und heilswichtig sein müßte, zu ergründen sucht.

Aristoteles, der schon vor Euklid lebte (384 v. Chr. — 322 v. Chr.), erscheint, gemessen an den Großen vor und nach ihm, die wir hier betrachten, in der Hauptsache als ein Vielschreiber; er ist eine offenbare Verfallserscheinung. Er tritt dabei wie ein Alleswisser auf, so gut wie in allen Dingen, über den nichts hinaus könnte. Diesen Eindruck machte er jedenfalls bei den schwachgeistigen Nachkommen, und deshalb blieben auch seine Werke in auffallendem Umfange dem Verlust entzogen, wenn auch zeitweilig verborgen, und es ist von ihm auch persönlich mehr bekannt, als von den Großen, wie Euklid oder Archimedes[1]). Daß ihm ein Jahrtausend lang fast blind gefolgt wurde, lag aber doch nicht an ihm, sondern an den jeweils lebenden Menschen. Was er in bezug auf Naturvorgänge behauptete, wäre alles der Nachprüfung zugänglich gewesen, ja sogar teilweise sehr leicht, indem es Dinge der täglichen Umgebung betraf, die jeder selbst mit Muße beliebig genau besehen konnte. Man war aber offenbar unfähig dazu geworden. Außerdem war es auch lange Zeit hindurch mittels Gewalt verboten worden, von Aristoteles sowie von der Bibel abzuweichen — Hochschulen und Inquisition sorgten dafür —, was aber auch nur wieder eine Äußerung des Tiefstandes der Geister war.

Die heilende, wieder genügend reinblütige Menschen zur Herrschaft bringende Wirkung der Jahrtausende[2]) hat sich zuerst — nachdem schon neuentwickelte Kunst gotische Dome hatte entstehen lassen — in zwei Ereignissen mehr äußerlicher Art gemeldet. Gutenberg führte erfindungsreich im Jahr 1440 den Buchdruck ein; Columbus trat 1492 seine kühne, langverzögerte Fahrt nach dem Westen an und brachte wie greifbar die dann bestaunte Kunde von einer Umsegelbarkeit, also wohl doch freischwebenden Kugelgestalt der Erde mit, ja von lebenden Gegenfüßlern (Antipoden) auf ihr, von deren möglichem Dasein öffentlich auch nur zu reden bis dahin verpönt war. Hatte Gutenberg's Errungenschaft es sehr viel leichter als früher gemacht, fern voneinander lebende, suchende Geister miteinander in Verbindung zu bringen, so zeigte Columbus' Entdeckung die Annahme der feststehenden, unbeweglichen Erde, ein Haupt-Glaubensstück von Aristoteles und der Bibel, doch zum mindesten schon als sehr fraglich an.

---

[1]) Es wird berichtet, daß Aristoteles, aus dem südlichen Griechenland stammend, klein und schlank von Gestalt, in seinem Benehmen geziert und in der Unterhaltung zu Sarkasmus geneigt gewesen sei.

[2]) Unterstützt wurde diese Wirkung sicherlich durch das umfassendere Wiederbekanntwerden der Schriften des griechischen Altertums (seit 1453); jedoch ganz verschollen waren diese Schriften auch vorher nicht gewesen, und es bleibt als tiefster Grund auch des zeitweiligen Verschollenseins doch das Fehlen der auch nur zu richtiger Pflege der Schriften geeigneten Menschen übrig.

Danach folgte Schritt für Schritt die neue Forschertätigkeit, deren große Stufen wir im Folgenden an ihren großen Vertretern anschaulich machen wollen.

Zuvor möchte ich hier einer meist, ja wohl ausschließlich vertretenen Ansicht entgegen mich äußern, nämlich der Ansicht, daß diese neu anbrechende Fruchtbarkeit auch eine neuartige Forschungsweise, die beobachtende oder experimentierende, mit sich gebracht habe, daß etwa Tycho, Stevin, Galilei grundsätzlich andersartige Forscher gewesen seien als Archimedes und Hipparch. Nein; sie brachten nur die Wiederaufnahme und gradlinige Fortsetzung dessen, was schon begonnen, aber dann verödet liegen geblieben oder nur in unschöpferischen Abänderungen umhergewälzt worden war. Beobachtet hat sogar auch der verschrobene Aristoteles. Wenn er zum Beispiel behauptet, leichte Körper fallen langsamer, schwere schneller, so hat er ohne Zweifel Flaumfedern und Steine fallen gesehen. Stevin und Galilei verfuhren allerdings anders als Aristoteles, indem sie die Fülle sowohl als die zahlenmäßige Seite des Beobachtbaren wieder ernst nahmen, ganz wie es aber schon Pythagoras ausdrücklich gewiesen und Archimedes und Hipparch getan hatten. Von Aristotelischer Schnellfertigkeit und Überheblichkeit war allerdings das Verfahren von Stevin, Galilei und all den folgenden Großen sehr verschieden; aber auch hierin waren sie nur gleich jenen, ihren wahren Vorgängern. Nur allmählich gingen sie in steigendem Maße vom Beobachten des von selbst und unmittelbar den Sinnen sich Darbietenden zum Experiment über, d. i. zum Anstellen von Beobachtungen unter besonders ausgedachten, günstigen Bedingungen und mit besonderen Zurüstungen. So Galilei bei seinen Fallversuchen auf der schiefen Ebene und bei seinen Himmelsbeobachtungen mit dem Fernrohr; aber auch Archimedes hatte schon experimentiert, als er verschiedene Körper unter Wasser tauchte. Der Fortschritt der neubeginnenden Epoche gegenüber der alten liegt also nur in der allmählich zunehmenden absichtlichen Vermehrung und Verfeinerung der Beobachtungen und in der fortschreitend zunehmenden Zuhilfenahme nach Willkür abgeänderter Bedingungen für den Ablauf der zu beobachtenden Erscheinungen, wie z. B. wenn Galilei die Bewegungen verschieden weit ausschwingender oder verschieden lang gemachter Pendel untersuchte. Das war doch auch nichts wesentlich anderes, als wenn Archimedes die Länge der Hebelarme variierte oder, anknüpfend an früher gelegentlich gemachte Beobachtungen, variiert dachte. Das Fortschreiten in dieser Richtung mußte sich von selber ergeben, nachdem die Schlußmöglichkeiten aus gelegentlichen, teilweise fast unbewußt gemachten und in Erinnerungsbildern vorhandenen Beobachtungen alltäglich von selber ablaufender Vorgänge erschöpft waren. Als wesentlich kann man

dabei wohl das Fortschreiten vom mehr unbewußten zum mehr bewußten und als besonders förderlich erkannten Verändern der Beobachtungsbedingungen betrachten. Dieser Fortschritt in der Forschungsweise war aber auch bei den Alten schon im Beginnen; er war dann samt aller großen Forschung über die anderthalb Jahrtausende unterbrochen, um endlich besonders in Galilei — aber auch bei ihm nicht plötzlich, sondern ganz schrittweise — wieder zu weiterer Entwicklung zu kommen. Die Behauptung, daß Naturforschung als Erfahrungswissenschaft vor unserer Zeitrechnung noch nicht vorhanden gewesen sei, ist auch allein schon durch das Beispiel von Hipparch widerlegt, der geradezu als der Begründer der planmäßig beobachtenden, erfahrungsammelnden Astronomie zu betrachten ist.

Leonardo da Vinci

(1452—1519)

ist der erste Große am Beginn der neuen Epoche. Geboren in Vinci bei Empoli unweit Florenz bildete er sich dort früh als Maler und Musiker aus. In letzterer Eigenschaft wurde er mit 30 Jahren an den Hof von Mailand empfohlen, wo er dann das berühmte Abendmahl schuf. Nicht weniger war er auch als bildender Künstler tätig und ebenso als Berater bei Bauten von Befestigungswerken und Wasserwegen. Außerdem scheint er eine Akademie der Künste (und Wissenschaften) in Mailand gegründet zu haben, deren Mittelpunkt er wohl selbst war. Krieg hat all dieser schönen Entwickelung nach 19 Jahren ein Ende gesetzt. Leonardo wandte sich nun wieder nach Florenz. Später suchte er nochmals in Mailand und dann in Rom Stätten seiner Wirksamkeit. Drei Jahre vor seinem Tode siedelte er auf Einladung des Königs nach Frankreich über, wo er, 67 Jahre alt, starb.

Man sieht, daß es zu wenig ist, wenn man ihn, wie meist, nur als Maler kennt. Daß er ganz besonders auch Naturforscher war, geht aus seinem außerordentlich umfangreichen handschriftlichen Nachlaß hervor, der in schwer leserlicher Schrift — da er sich meist der linken Hand bediente — aber mit vielen Zeichnungen eine Fülle von Naturerkenntnis aus eigener Beobachtung bietet, die weit in die Zukunft weist. Im Druck veröffentlicht hat er selbst nichts davon; doch dürfte er das meiste in der von ihm gegründeten Akademie vorgetragen haben[1]). Es finden sich da zum erstenmal Vorstellungen von Einzelheiten der Fallbewegung. Sie

[1]) Erst 1940 erschien eine umfassende Zusammenstellung von Leonardos hinterlassenen Schriften, übersichtlich bearbeitet von Theodor Lücke, ein eindrucksvolles Bild von Leonardos unermüdlichem Schaffensdrang gebend und sein von ihm selbst betontes unmittelbares Studium der Natur zeigend.

wird nach Versuchen mit fallenden Hölzern und Bleistücken von einem Turm richtig als beschleunigte Bewegung erkannt, wenn auch weiter Eingehendes dabei noch nicht gelang. Das fahle Licht des Mondes neben der hellen Sichel, kurz vor und nach Neumond, erklärte er schon richtig



Bild 1. Leonardo da Vinci (Selbstbildnis).

100 Jahre vor Galilei als den Widerschein der sonnenbeleuchteten Erde. Hebel und die anderen Maschinen betrachtet er eingehender als Archimedes, und er kommt bei schief am Hebel angreifenden Kräften schon richtig zu dem wichtigen Begriff des Drehmoments. Er unterscheidet schon gleitende und rollende Reibung, betrachtet richtig Rei-

bung als eine besondere Kraftwirkung und findet ihre Unabhängigkeit von der Flächengröße. Wohl zum ersten Male erfaßt er auch klar den Begriff „Arbeit" als verschieden von „Kraft", indem er bemerkt, daß zur Arbeit wesentlich ein in Kraftrichtung zurückgelegter Weg gehört. Er beobachtet Wasserwellen, betrachtet den Schall richtig als Wellenbewegung in der Luft und schließt aus Beobachtungen von Echo auf eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Auch das Aufsteigen von Flüssigkeiten in engen Röhren erkennt und betrachtet er als eine besondere Erscheinung. Ferner überzeugte er sich davon, daß die Luft aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt ist, von denen nur einer das Brennen unterhält; ist dieser Bestandteil verbraucht, so kann auch kein Tier mehr in der Luft leben. Die geringere Dichte warmer Luft wollte er benutzen, um mit Wachs gedichtete Ballone zum Aufsteigen zu bringen[1]). Er konstruiert oder plant Luftfeuchtigkeitsmesser, Schleifvorrichtungen für Hohlspiegel, Flugmaschinen, Fallschirme, Taucheranzüge und vieles andere.

Naturforscher war Leonardo auch in seinen umfangreichen Bemühungen, das Innere des menschlichen Körpers zu ergründen, wobei er, wie niemand vorher, ganz an die Natur selbst sich hielt. Seine im Verborgenen getriebenen Studien an einer großen Zahl von Leichen hat er in vielen naturgetreuen Zeichnungen mit zugehörigen Niederschriften festgehalten, die weit mehr enthalten, als damals kundigste Ärzte wußten.

Newton hat in seinen alten Tagen einmal sich mit einem Knaben verglichen, der am Strande spielend wohl einige schönere Kiesel fand als Andere, wobei hinzuzufügen ist, daß er seine Funde auch gepflegt und höchst erfolgreich bearbeitet hat. Leonardo fand und sammelte der Kiesel gar viele und vielartige; die ganz besonderen, die auch er fein bearbeitete, sind seine unsterblich gewordenen Gemälde, nicht Naturforscherleistungen. Aber er war offenbar doch gleicher Art mit Newton: aus reiner Schaffensfreude und Erkenntnisfreude erfassend, was die Natur bietet, und es treu verarbeitend, soweit der Stand der Zeit und die Ungunst der äußeren Umstände es ihm erlaubten. Daß Leonardo in der Ausführung nie sich genugtun konnte, dies zeigt die geringe Zahl seiner Gemälde, die nur Meisterwerke sind, ebenso aber auch die nur

[1]) Erst rund 300 Jahre später, als schon das Zeitalter der Dampfmaschine im Anbrechen war, wurde dieser naturangemessene Gedanke in genügendem Maßstab zur Ausführung gebracht; die Papierfabrikanten Brüder Montgolfier in Frankreich ließen im Jahre 1782 probeweise etliche Tiere mit einem 10 Meter großen Ballon aufsteigen, die wohlbehalten zurückkamen. Im Jahr darauf erhoben sich mit einem ähnlichen, noch größeren Ballon zum ersten Male Menschen. Gleichzeitig kam auch die Füllung mit dem damals noch nicht lange entdeckten Wasserstoffgas auf.

handschriftliche Aufzeichnung seiner Naturerkenntnisse. Hielt er die letzteren auch für unfertig, so ist er doch auch mit diesen weit seiner Zeit vorangeschritten.

Es wird berichtet, daß Leonardo durch Schönheit, Kraft und Gewandtheit des Körpers, durch eine unergründliche Anmut in allem Tun sich auszeichnete und daß er bei aller Zurückhaltung auch im täglichen Umgang durch Geist und Witz glänzte. Tieren sei er stets mit großer Teilnahme zugetan gewesen[1]).

Nikolaus Kopernikus

(1473—1543),

geboren aus deutscher Familie zu Thorn an der Weichsel, studierte zuerst in Krakau Medizin, Mathematik und Astronomie[2]). Früh verwaist, wurde er von seinem für ihn sorgenden Oheim mütterlicherseits, einem späteren Bischof von Ermland, dem geistlichen Ordensleben zugeführt. Er war dabei viel auf Reisen, die über Wien bis Rom gingen, wobei er an verschiedenen Universitäten Italiens weitere, sehr umfassende Studien trieb. Etwa 27jährig hielt er öffentliche astronomische Vorträge in Rom, studierte dann aber auch kirchliches (kanonisches) Recht und wurde in der Folge Domherr zu Frauenburg in seiner Heimat. Dies verschaffte ihm die Möglichkeit, durch Jahre ungestört, besonders in der ersten Zeit und dann auch wieder im höheren Alter seinen Studien zu leben. Er hatte aber auch zeitweilig als Statthalter im umfangreichen Landbesitze des Domstiftes vom Schloß in Allenstein aus unter schwierigen Kriegsverhältnissen mit Umsicht und Festigkeit praktisch gewirkt, war längere Zeit Vertreter des Domkapitels bei den preußischen Landtagen, wirkte als Sachkundiger für eine damalige Erneuerung des Münzwesens und genoß auch als Arzt guten Ruf.

Kopernikus war Zeitgenosse von Luther. Er schloß sich den Neuerern nicht an, bewies aber gegen dieselben stets eine milde Gesinnung, selbst auf die Gefahr hin, mit seinen kirchlichen Vorgesetzten in Widerspruch zu geraten.

In seinem berühmten Werk „De revolutionibus orbium caelestium“ („Über die Umdrehungen der Himmelskörper“) hat Koper-

[1]) Leonardo's Leben, Künstlertätigkeit und Persönlichkeit sind auf Grund der oft spärlichen Nachrichten geschildert von Woldemar von Seidlitz (2 Bde., Berlin 1909, neue Ausgabe Wien 1935).

[2]) Der Name wurde von ihm selbst meist Coppernic geschrieben; auf seinem Werk „De revolutionibus“ steht Kopernikus. (S. die eingehende Lebensbeschreibung von Leop. Prowe, Berlin 1883.) Besondere Nachweise der deutschen Abstammung von Kopernikus geben die im „Handwörterbuch des Grenz- und Auslandsdeutschtums“ Bd. III, Artikel Kopernikus) zitierten Schriften.



Tycho Brahe

Nach dem (beim Brande 1859 verlorenen) Ölbild im Schloß Frederiksborg in Kopenhagen.

nikus 36 Jahre lang bis nahe zu seinem Tode gearbeitet. Er ging aus von dem Wunsche, den Lauf der Himmelskörper, Sonne, Mond, Planeten, am Himmelsgewölbe in einfacher und zuverlässiger Weise vorausberechnen zu können. Zur Grundlage nahm er die überkommenen Kenntnisse und Anschauungen, wie sie in den 13 Büchern, betitelt „Die große Zusammenstellung" oder „Almagest", damals niedergelegt waren.



Bild 2. Nikolaus Kopernikus.

Der Zusammensteller, Ptolemaeos (70—147 n. Chr.), hatte die Hauptsache Hipparch entnommen, also guten Beobachtungen, und insofern war Kopernikus gut versorgt; jedoch war im Almagest die Erde als ruhend angenommen, was damals auch ganz allgemein für unzweifelhaft gehalten wurde. Von dieser Annahme aus gelang es aber Kopernikus nicht, die tatsächlich von Hipparch an bis zu seiner Zeit und auch von ihm selbst beobachteten Bewegungen der Gestirne in befriedi-

gender Weise rechnend zu verfolgen; die vielen Kreise und Nebenkreise (Epizyklen), in welchen man alles um die Erde bewegt annehmen mußte, wurden höchst verwickelt, und die Verwickelung stieg immer weiter, je mehr Kopernikus versuchte, den vorhandenen Beobachtungen mit der Rechnung zu folgen. Beispielsweise mußten die Bahnkreise exzentrisch um die Erde gelagert angenommen werden, wodurch der Grundgedanke von der Mittelpunktsstellung der Erde doch wieder aufgehoben war. Dagegen wurde alles einfach und übersichtlich, als Kopernikus versuchte, diesen Grundgedanken vollständig zu verlassen und die Erde gleich einem der Planeten um die Sonne kreisen, außerdem täglich um eine sich selbst parallel bleibende Achse sich drehen zu lassen. Von dem so bewegten, dem Erdenbewohner gegebenen Beobachtungsstandpunkt aus ergaben sich die tatsächlich beobachteten Lagen und Bewegungen der übrigen Planeten einfach, wenn man nur annahm, daß sie ebenfalls in besonderen, verschieden großen Bahnen um die Sonne liefen und daß der Fixsternhimmel, der Hintergrund, auf welchem die Bewegungen sichtbar werden, sehr viel weiter von uns entfernt ist als die Sonne und alle Planeten. Als einzig noch um die Erde kreisend war der Mond übrig geblieben, der ihr aber auch, wie schon Hipparch gefunden hatte, weitaus näher steht als alle anderen Gestirne. Eine solche Auffassung vom Planetensystem, mit ruhender Sonne und bewegter Erde, war schon in Pythagoras' Schule vorhanden, was den hohen Flug dieser Geister zeigt, aber bei ihnen noch immer kein festgegründetes Forschungsergebnis war. Ein solches wurde es bei Kopernikus, da ihm Hipparch's eingehende Beobachtungen zur Verfügung standen, und da er nicht ruhte, bis er völlig klar darüber wurde, daß andere — vor ihm gedachte oder von ihm zu erdenkende — Möglichkeiten nicht ebensogut und in ebenso einfacher Weise mit der beobachteten Wirklichkeit stimmten, als eben jene Annahme der bewegten Erde. Damit war für ihn diese Annahme aber auch erkannte Wirklichkeit geworden; er zeigt sich als echter Naturforscher, indem er ausspricht, gefunden zu haben, daß und wie die Erde sich bewegt: „Alles dies, so schwer und beinahe unbegreiflich es auch manchem erscheinen und so sehr es auch gegen die Ansicht des großen Haufens sein mag, alles dies wollen wir in der Folge unseres Werkes mit Gottes Hilfe klarer noch als die Sonne machen, wenigstens für diejenigen, die nicht aller mathematischen Kenntnis bar und ledig sind".

Er zieht auch ausdrücklich eine sehr bemerkenswerte Folgerung aus seiner Erkenntnis. Beschreibt die Erde jährlich eine solche Bahn von sehr großem Durchmesser um die Sonne, so können die Fixsterne keineswegs so wenig weit von uns sein, als man damals dachte. Denn es wurden keine Zeichen von halbjährlichem Wechsel der Abstände, wie etwa

Größen- oder Helligkeitsänderungen merklich. Die nicht allzugroße Kugel, auf welcher alle Fixsterne befestigt gedacht wurden und welche das Weltganze einschloß, konnte nicht der Wirklichkeit entsprechen; vielmehr erschienen nun die Fixsterne in Entfernungen gerückt, die im Verhältnis zum schon großen Abstand der Sonne unermeßlich sein mußten. Man war plötzlich dem Gedanken an die Unendlichkeit des Weltalls nahe gerückt.

Ein neues Weltbild war entstanden, und es war zum ersten Mal zahlenmäßig auf Erfahrung gestützt. Dieses von Kopernikus begründete Bild ist geblieben; es ist nur, wie stets alles in der Naturforschung, allmählich weiter verfeinert und dementsprechend mit noch weiteren, tiefer gehenden Vorstellungen verbunden worden. Tycho, Kepler, Galilei, Huygens, Newton sind die Namen, welche diesen fast zwei Jahrhunderte währenden Weiterentwicklungsgang bezeichnen.

Kopernikus hat sein früh begonnenes und etwa 1530 im wesentlichen fertiges Werk lange zurückgehalten, nicht aus Scheu, Erkanntes zu bekennen, wie anstößig und unannehmbar es auch den Zeitgenossen erscheinen mußte[1]), wohl aber aus Scheu vor lärmendem Sich-Einmischen Nichtverstehender. Er zweifelte: „Ob ich mein Werk bekannt machen, oder ob ich den Inhalt desselben nach dem Beispiele der Pythagoraeer nur in mündlicher Überlieferung meinen Freunden mitteilen sollte". So kam es, daß erst an seinem Todestage noch seine Hand das erste, endlich gedruckte Stück berühren konnte. Er hat weder die Gleichgültigkeit bemerkt, mit der die Mitwelt das rein wissenschaftlich gehaltene Werk zuerst aufnahm, noch die Verfolgung erlebt, die später demselben von den Mächten der Kirche zuteil wurde.

Die erste gewaltige und wohl überhaupt die zu allertiefst gehende Wirkung, die Kopernikus' Werk bei einem verwandten Geiste hervorrief, zeigte sich etwa 40 Jahre nach dessen Erscheinen bei Jordanus Brunus, dem Dominikaner von Nola, der — hierin Luther gleich — allerdings nicht im Kloster bleiben konnte. In Zeiten noch fast allgemeiner Verkennung preist er öffentlich in Rede und Schriften die Erkenntnis des Kopernikus als erlösende Tat, als Ausgangspunkt einer

[1]) Die der ersten Druckausgabe von Kopernikus' Werk beigegebene, ausweichend klingende Vorrede stammt nicht von ihm und hatte auch nicht seine Billigung, sondern ist vom Herausgeber offenbar in Vorahnung der Gefahren hinzugefügt worden, was aber nicht hinderte, daß das Werk später doch verboten wurde. Auch sonst sind mehrere bemerkenswerte Abweichungen von der noch vorhandenen Urschrift in der ersten Druckausgabe zu finden (s. dazu die schon angeführte Lebensbeschreibung von Prowe). Eine 1939 neu herausgegebene Übersetzung („Über die Kreisbewegungen der Weltkörper") von C. L. Menzzer ist bei der Akad. Verlagsges. in Leipzig erschienen.

neuen Ära des Denkens und Forschens. Für ihn ist Verallgemeinerung der Weg zu großen Ausblicken. Was er so erahnt, war zu seiner Zeit nicht nachprüfbar und bedeutet daher keinen Fortschritt des Wissens; er dringt aber bis zu letzten Erkenntnissen vor, die auch heute noch nur zu erahnen sind und die, wenn auch weit über Kopernikus hinausgehend, doch auf dessen Forscherwerk ruhen und daher hier Platz zu finden haben. Er verläßt die von Kopernikus schon weit gedehnte, das Sonnensystem einschließende Kugel der Fixsterne, löst sie gänzlich auf und sieht in den Fixsternen zum ersten Mal ebenfalls Sonnen, zahllos frei im Raum schwebend verteilt. Und die Sonnen sieht er alle von Planeten umkreist, von Erden, ähnlich der unseren und gleich dieser von Lebewesen bewohnt. Der Raum dieses Weltganzen, in welchem nicht nur unsere Erde, sondern auch unsere Sonne keine bevorzugte Mittelpunkts-Stellung mehr einnimmt, wird ihm dabei — ihm zum ersten Mal mit guten Gründen — unbegrenzt, unendlich. Und Stützpunkte lebender Geister sind demnach überall in diesem Weltganzen verteilt, wenn auch durch weite, körperlich unüberbrückbare Zwischenräume geschieden. „Es gibt nur einen Himmel", sagt er, „eine unermeßliche Region der leuchtenden und der erleuchteten Körper; nicht fern von uns ist die Gottheit zu suchen, da wir sie nahe haben, ja in uns, mehr als wir selber in uns sind, so wie die Bewohner der anderen Welten sie nicht bei uns suchen müssen, da sie sie bei und in sich selbst haben". — Inquisition und Papst bereiteten ihm dafür den Tod am Scheiterhaufen. Er betrat ihn im Jahre 1600 auf der Piazza dei fiori zu Rom, bis zuletzt voll Abscheu abgewandt von einem „Christentum", das mit Erkenntnissen, wie die des Kopernikus, nicht verträglich sein sollte.

Tycho Brahe

(1546—1601).

Kopernikus hatte selbst den Wunsch hinterlassen, daß die nach seinen Angaben vorauszuberechnenden Planetenörter mit den wirklichen in Zukunft verglichen werden sollten, um seine Angaben über die Bahnen der Himmelskörper zu prüfen. Die Vorausberechnung wurde von Erasmus Reinhold (1511—1553) in den „Prutenischen (preußischen) Tafeln" ausgeführt, die eine große, auch für das Kalenderwesen wichtig gewordene Verbesserung gegenüber den früher gebräuchlichen Berechnungstafeln ergaben. Es zeigte sich dabei Kopernikus' Werk als bewährt; jedoch ganz vollkommen war die Übereinstimmung mit der Wirklichkeit nicht. So wurde z. B. Mars gelegentlich um zwei Grade (4 Vollmondsbreiten) von dem berechneten Orte entfernt gefunden. Solche Abweichungen konnten an den Ausgangsdaten liegen, die bei

Kopernikus zum Teil noch von Hipparch herrührten, und die Bewunderer des Fortschrittes, der in Kopernikus' Lehre lag, waren geneigt, dies anzunehmen; es konnte aber auch der wirkliche Lauf der Gestirne immerhin noch Besonderheiten besitzen, die auch Kopernikus unbekannt geblieben waren. Hier konnte nur wieder ein unbefangen und unbeirrt beobachtender Naturforscher weitere Förderung bringen, und als solcher leuchtete Tycho Brahe mächtig neuen Entdeckungen voran. Er verschmähte es, Kopernikus' System von vornherein anzunehmen; er wollte nur möglichst verbessert feststellen, welches der wirkliche Lauf der Planeten unter den Fixsternen ist, wozu auch deren Örter erst noch genauer als durch Hipparch aufzunehmen waren, und es sollte dies alles mit bisher unerreichter Feinheit geschehen. Er hat diesen Zielen unermüdlich eine fast dreißigjährige Arbeit gewidmet. Seine Ausmessungen himmlischer Örter haben durch neu von ihm ersonnene, sehr umfangreiche Hilfsmittel das äußerste erreicht, was ohne Fernrohr überhaupt möglich ist. Er berücksichtigt und ermittelt beispielsweise als erster auch Kreisteilungsfehler der Instrumente und die Lichtstrahlenbrechung in der Luft. Seine in umfangreichen Tabellen niedergelegten Messungen geben Sternörter bis auf $^1/_2$ Bogenminute ($^1/_{60}$ Vollmondsbreite) genau an, während Kopernikus selbst Beobachtungen mit 20mal so großen Unsicherheiten schon als besonderen Erfolg genommen hätte.

Tycho war als Sohn eines schwedischen Edelmannes geboren, begann zuerst in Kopenhagen Rechte und Rhetorik zu studieren, wandte sich dann aber, seiner Neigung gemäß, entgegen den Wünschen der Familie, der Astronomie zu. Sechzehnjährig zog er an die Universität Leipzig, dann nach Wittenberg und Rostock; nebenher betrieb er auch alchimistische Studien. Vielleicht ermöglichten ihm diese auch die Herstellung der Silberlegierung, aus welcher er geschickt den in einem Zweikampf verlorenen oberen Teil seiner Nase ersetzte. Jedenfalls kam ihm große Erfahrung in Metallbearbeitung beim Bau seiner Instrumente zustatten. Seine schon geschilderte Haupt-Lebenstätigkeit wurde ihm durch fürstliche Gunst ermöglicht. König Friedrich II. von Dänemark gab ihm auf Empfehlung des Landgrafen Wilhelm IV. von Hessen die Insel Hven im Öresund unweit Kopenhagen zu Lehen und erbaute dem damals 30jährigen Tycho dort nach seinen Wünschen die reich ausgestattete, dann berühmt gewordene Sternwarte „Uranienburg", mit Wohnung für ihn und seine Gehilfen und wissenschaftlichen Gäste, samt vielem Beiwerk[1]). Hier waren ihm 21 Jahre eifrigster Tätigkeit beschieden. Danach wurde sein Werk gestört. Friedrich II.

[1]) Beschrieben mit Abbildungen in „Tychonis Brahe Epistolarum Libri", Norinb. 1601.

war gestorben; vier Räte führten während der Minderjährigkeit des Nachfolgers die Regierung. Tycho verlor die Hofgunst, und es wurde Widersachern, deren der etwas heftige, selbstbewußte Mann wohl viele hatte, leicht, seine Stellung zu untergraben, so daß er zum Entschluß kam, sein Uranienburg und Dänemark zu verlassen. Die Sternwarte verfiel danach. Nach zweijährigem Verweilen unter drückenden Umständen, meist in Rostock, gelang es Tycho endlich wieder einen Weg zu finden. Er erhielt Verbindung mit Kaiser Rudolf und wurde dessen Astronom, Astrolog und Alchymist. Er erhielt ein Haus, Schloß Benach oder Benatek bei Prag, zum Aufenthalt und gute Mittel zur Neueinrichtung einer Sternwarte. Doch nur ein Jahr lang genoß er die neue Arbeitsfreude. Er starb nach kurzer Krankheit, nur 55 Jahre alt. Seine reichen Beobachtungsergebnisse gingen auf Johannes Kepler über, der in Prag sein Gehilfe war. Als eine seiner letzten Äußerungen wird berichtet: „Ne frustra vixisse videar" („Möchte es nicht scheinen, daß ich vergeblich gelebt habe").

Tycho war nicht nur der exakt messende Astronom. War auch die treffende Verwertung seiner Lebensarbeit über die Planetenbewegungen Kepler vorbehalten, so hat er doch auch selbst wichtige Schlüsse gezogen. Seine erste Schrift, die ihn schon weit bekannt machte, betraf den von ihm entdeckten, plötzlich neu aufleuchtenden Stern von 1572; er schloß aus dem Mangel an Eigenbewegung dieses Sternes, daß er dem Fixsternhimmel angehöre und sprach mit Nachdruck aus, daß demnach die Welt jenseits der Planeten keineswegs unwandelbar sei, wie man allgemein annahm. Auch Kometen beobachtete er. Er bemerkte, daß der Standort eines Kometen zwischen den Sternen der gleiche ist für sehr weit voneinander entfernte Beobachter und schloß daraus, daß Kometen weit entfernte Himmelskörper, nicht, wie man bis dahin annahm, leuchtende Gebilde der Erdatmosphäre sind. Ferner zeigten ihm die Bewegungen der Kometen Bahnen an, die von sehr fern her bis nahe zur Sonne sich erstreckten, wodurch es klar wurde, daß der Himmelsraum freie Bewegungen zwischen allen Planetenbahnen hindurch gestattet. Nichts war von den kristallenen Kugelschalen zu merken, durch die die Planetenbahnen noch immer festgelegt gedacht wurden. Bei all dem fiel es Tycho immer noch schwer, die Erde als bewegt anzunehmen; er sah zuviel Gegengründe. Es ist unrecht, dies als Schwäche deuten zu wollen, ihm, dessen Lebensarbeit erst das Mittel lieferte, zur restlosen Erledigung aller Gegengründe fortzuschreiten. Was dazu fehlte, war die „Dynamik", die Kenntnis der Bewegungsgesetze der Materie und der wirkenden Kräfte, geltend in gleicher Weise für den geworfenen Stein auf der Erde, wie für die ganze Erde und die anderen Himmelskörper. Der Weg dahin war noch weit; erst mit Newton war er ganz durchmessen.

Tycho hatte rötliche Haarfarbe und war ein großer Tierfreund.

Simon Stevin
(1548—1620).

Dieser allzuwenig allgemein bekannte Forscher ist nach Leonardo der erste bewußte Fortsetzer der Studien des Archimedes über Mechanik. Er knüpfte auch ausdrücklich bei diesem alten Meister an. Kopernikus und Tycho suchten an den vorgegebenen, menschlichem Eingriff gänzlich entzogenen Bewegungen der Himmelskörper das Geschehen in der Welt zu ergründen; Stevin wendet sich wieder den irdischen Maschinen zu. Schiefe Ebene, Hebel, Flaschenzüge beschäftigen ihn zunächst, und er findet an ihnen Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge von allgemeinster Wichtigkeit und dringt von da aus noch viel weiter vor.

Er begann als Steuerbeamter in seiner Vaterstadt Brügge, verließ aber bereits mit 23 Jahren diese Tätigkeit, durchreiste dann Deutschland, Polen und Schweden und studierte auch an der Universität Leiden. Seine außerordentliche Fähigkeit in der Behandlung mechanischer Fragen ließ ihn zuletzt zum Oberaufseher der Land- und Wasserbauwerke Hollands und zum Generalquartiermeister der holländischen Armee aufrücken. Seine naturwissenschaftlichen Studien veröffentlichte er, abweichend vom Gebrauche der Zeit, nicht in Latein, sondern in seiner Muttersprache, holländisch; sie wurden aber dann auch in andere Sprachen übersetzt.

Sein Haupteingangstor zur Lehre vom Gleichgewicht der Kräfte („Statik"), die er in allem Grundlegenden zur Vollendung gebracht hat, ist die schiefe Ebene. Das Bild der dreieckförmigen, auf waagrechter Grundlinie stehenden schiefen Ebene, mit der bedeutungsvollen, darum gelegten endlosen Kette ziert schon außen eines seiner Hauptwerke, mit der Überschrift: „Wonder en is gheen wonder" („Wunder und doch kein Wunder"). Das Wunder dabei ist die Einfachheit des Satzes, daß das Übersetzungsverhältnis (Kräfte-Ersparnis-Verhältnis) auf der schiefen Ebene gleich ist dem Verhältnis der Höhe zur Länge derselben. Gezeigt wird, daß dieser Satz kein Wunder ist; denn er wird als Folge der wie selbstverständlich erscheinenden Tatsache gezeigt, daß jene endlose Kette vermöge ihrer Schwere niemals von selber auf der schiefen Ebene ins Gleiten kommen würde, möge sie noch so reibungslos aufgelegt sein. Stevin bringt damit zum ersten Mal in einem voll durchgeführten und wichtigen Beispiel das Gedankenexperiment in die Forschung, das ist einen Versuch, dessen Ausführung in der Wirklichkeit überflüssig ist, weil die Erfahrung, die er brächte, schon vorher genügend erworben und daher im Bewußtsein schon fertig vorrätig ist. Die Kette wird nicht in Bewegung kommen. Denn wenn sie es täte, würde sie es auch unablässig weiter tun müssen, da ihr Gleiten in der einen oder auch in der anderen Richtung nur immer wieder dieselbe Verteilung der

Schwerkräfte an ihr bestehen ließe, was ein „Perpetuum mobile" ergäbe. Der praktisch maschinenkundige Stevin nimmt es als feststehend an, daß das Perpetuum mobile, die Vorrichtung, die aus sich selbst fortdauernd Bewegung schaffte, die ewig von selber gehende Arbeitsmaschine, unmöglich ist, somit auch das In-Bewegung-Kommen der Kette vermöge der Schwere. Die Kette muß demnach im Gleichgewicht sein, woraus dann die Gleichgewichtbedingung auf der schiefen Ebene, ihr Über-



Bild 4. Simon Stevin.

setzungsverhältnis, unmittelbar sich ergibt, wenn man noch den frei hängenden Teil der Kette wegdenkt. Stevin verknüpft somit den Erfahrungssatz von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile feststehend mit dem Übersetzungsverhältnis der schiefen Ebene, dann aber weiter auch mit dem Kräfteparallelogramm, das bei ihm auch zuerst erscheint und in reiche Verwendung kommt. Solche feste Verknüpfung verschiedener, auch einzeln durch Erfahrung nachprüfbarer Sätze, so daß sie alle miteinander stehen oder fallen müssen, ist höchst charakteristisch für die exakte Naturforschung — es ruht in solchen Verknüpfungen die beson-

dere Sicherheit ihrer Ergebnisse , und Stevin bietet hiervon das erläuterte grundlegende Beispiel.

Er verknüpft aber diese Erkenntnisse auch mit den Sätzen von den anderen Maschinen, wie Flaschenzügen und Hebeln, und kommt damit zum Anschluß an Archimedes und Leonardo und überhaupt zur Beherrschung aller beliebigen Maschinen, d. i. aller Vorrichtungen, die Größe, Richtung, Angriffspunkt gegebener Kräfte nach Bedarf abzuändern erlauben. An den Flaschenzügen wird ihm zum ersten Mal das „Prinzip der virtuellen Verrückungen" klar, welches besagt, daß bei Verrückungen in der Nähe des Gleichgewichts Wege und Kräfte in umgekehrtem Verhältnis zueinander stehen oder daß stets am Weg zugegeben werden muß, was an Kraft gespart wird. Dieses Prinzip gilt für alle Maschinen, auch wenn sie mit Flüssigkeiten arbeiten, wie die spätere hydraulische Presse. Für die volle Klärung des Begriffes „Arbeit" war das Prinzip von besonderer Wichtigkeit. Man sieht, daß die durch das Produkt aus Kraft und Weg gegebene Größe der Arbeit bei allen Maschinen unverändert bleibt.

Eben auch auf das Gleichgewicht bei Flüssigkeiten (Hydrostatik) beziehen sich grundlegende und in allen Hauptsachen bereits erschöpfende Untersuchungen Stevins. Er leitet die Gesetze der Druckverteilung in Flüssigkeiten und des Bodendruckes ab, wobei er wieder vom Gedanken der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile ausgeht und außerdem einen Hilfssatz hinzufügt, wonach das Gleichgewicht in einer Flüssigkeit nicht gestört wird, wenn ein Teil derselben (ohne Volumänderung) erstarrt. So kommt er auch zur wichtigen „paradox" scheinenden Erkenntnis der Unabhängigkeit des Bodendruckes von Querschnitt und Form der ihn ausübenden Flüssigkeitssäule, von welcher allein nur Höhe und spezifisches Gewicht maßgebend sind. Er prüft und bestätigt auch den Satz durch eine Waagevorrichtung, deren eine Schale Bodenplatte eines Flüssigkeitsgefäßes ist, dem er verschiedene Formen gibt. Bei der Betrachtung der hohlverbundenen Flüssigkeitsräume (kommunizierenden Röhren) und des Schwimmens hat er wieder Berührungspunkte mit Archimedes und Leonardo. Er geht aber über das Archimedische Prinzip hinaus, indem er nicht nur die Größe und Lage der Auftriebskraft, sondern zum ersten Mal auch ihren bei (nicht zu großen) Wendungen des schwimmenden Körpers gültig bleibenden Angriffspunkt — das „Metazentrum" — der Betrachtung nahe bringt. Diese Erkenntnis verwertet er auch für den Schiffbau.

Von Stevin ist auch das Rechnen mit Dezimalbrüchen eingeführt worden, ohne allerdings zunächst weitere Verbreitung zu finden.

Daß er nicht nur Archimedes, sondern, wie es damals gebräuchlich war, auch Aristoteles studierte, dies zeigt besonders sein hieran an-

knüpfender Versuch über das Fallen verschieden schwerer Körper, das er — entgegen der Angabe von Aristoteles — gleich schnell findet. Er sagt in einem schon 1605 erschienenen Werke: „Nehmet, wie der Professor Jan Cornets de Groot und ich es getan haben, zwei Bleikugeln, die eine zehnmal größer und schwerer als die andere, und lasset sie von einer Höhe von 30 Fuß auf eine Platte oder einen anderen Gegenstand fallen, auf den aufschlagend sie einen genügend lauten Klang geben, so wird sich zeigen, daß sie zugleich auf die Platte auffallen, so daß die beiden Klänge wie ein einziger zu sein scheinen". Hiermit geht er über Fragen des Gleichgewichts (der „Statik") wesentlich hinaus in einem Vorstoß zur Untersuchung von Vorgängen der Bewegung („Dynamik"), worin ihm dann Galilei entscheidend nachfolgt. Was hierbei Stevin und Galilei von Aristoteles tiefgehend unterscheidet, ist offenbar das angeborene lebhafte innere Gefühl für die ganz hervortretende Wichtigkeit solcher einfacher Bewegungsvorgänge, wie das bloße Herabfallen von Körpern, als Erkenntnis-Eingangstore für das Verständnis von Bewegungserscheinungen überhaupt. Aristoteles muß dieses Gefühl vollständig gefehlt haben. Für ihn war der Fallvorgang nichts besonderes; er fertigte ihn ab, wie die Fülle von so vielem anderen was er vornimmt, ohne auch nur Eines vom Vielen ordentlich besehen zu haben, obgleich doch Pythagoras schon Vorbild für Beginn der Forschung mit Einfachem war, das jedoch zahlenmäßig genau zu erledigen sei.

Galileo Galilei

(1564—1642).

Hier tritt ein Überragender hervor, dem es vergönnt war, an mehreren Stellen so in die Naturforschung einzugreifen, daß sie nachher auf ganz anderem Stand sich fand als vorher. Vor allem ist er der Begründer der Lehre von den Bewegungen der Materie („Dynamik"), die er aus zerstreuten kleinen Anfängen und Vermutungen bis zu einer fertigen Wissenschaft gebracht hat. Da alles Geschehen an den greifbaren und wägbaren Körpern, sofern sie unbelebt sind, von den kleinsten bis zu den größten, von den Atomen bis zu den Planeten und Sonnen im Himmelsraum, nur Bewegung derselben oder ihrer Teile ist, hat Galilei damit die gesamte Physik der Materie begründet. Die Untersuchung der Fälle des Gleichgewichts (Statik), in welchen Bewegung nicht eintritt, mußte, als einfacher, dem wohl vorausgehen, und wir sahen, wie dies von frühesten Zeiten her bis Stevin geschah; aber der allgemeine und Hauptfall ist doch der, daß die Bedingungen des Gleichgewichtes nicht erfüllt sind, das ist der Fall der Bewegung. Es geht aus allen Schriften vor Galilei hervor, daß man vor ihm außerstande war,

selbst an so einfachen Bewegungsvorgängen, wie ein fallender oder geworfener Stein sie bietet, zutreffend, ja fast überhaupt, Einzelheiten zu erkennen, noch viel weniger solche Bewegungen vorauszuberechnen; sie waren und blieben bis dahin nur dunkel erfaßter Übergang von einer Gleichgewichtslage zu einer anderen, Äußerungen eines undeutlich vorgestellten Strebens jedes Körpers, an seinen „natürlichen Ort" zu gelangen, wohin er gehöre. Welcher Unterschied zwischen dieser Stufe des Erkennens und der jetzt gesicherten Vorausberechnung aller Bewegungsvorgänge, wenn nur die bewegten Massen und die wirkenden Kräfte genügend bekannt sind! Damit ist die ganze Grundlage der heutigen Mechanik, Schallehre (Akustik) und Wärmelehre gegeben, die zusammen die Physik der Materie ausmachen. Es bleibt danach als neuerer, anderer Teil der Physik die Physik des Äthers übrig, die über Galilei hinausgeht; aber selbst die Erkenntnis, daß dies der Fall sei, stammt erst aus neuester Zeit, so daß man bis vor kurzem sogar sagen mochte, Galilei sei der Begründer der Physik überhaupt gewesen. Was er außerdem im Einzelnen geleistet hat, zeige das Folgende aus seinen Erlebnissen; würde es mehreren Forschern zugehören, so wären sie alle einzeln noch unter die Großen zu rechnen.

Galilei entstammte einer altangesehenen Florentiner Familie. Sein Vater scheint Kaufmann gewesen zu sein, war aber auch als Lehrer der Musik und Verfasser von Schriften über Tonkunst bekannt. Vorliebe für Musik, ja besondere Kunst im Lautenspiel, hat sich auch auf den Sohn vererbt. Er zeigte auch viel Begabung für Zeichnen und Malerei, sollte jedoch auf elterlichen Wunsch Medizin studieren, wozu er mit 17 Jahren die Universität Pisa bezog. Es wurde dort hauptsächlich Aristoteles gelehrt, und dies sagte Galilei äußerst wenig zu, wie auch noch aus seinen späteren Schriften hervorgeht. Es scheint ihn damit ein Widerwille gegen das Studium alter Schriften überhaupt ergriffen zu haben; denn trotz Anraten des Vaters entschloß er sich erst spät, in seinem 20. Jahre, mit Euklid sich vertraut zu machen. Es bedurfte jedoch nur dieses Anfanges, um ihn den Weg erkennen zu lassen, auf dem allein er seinem innersten Beruf entsprechen konnte. Euklid und bald auch Archimedes beschäftigten ihn dann ganz. Kein Zweifel, daß ihn Euklid zur Klarheit über das Wesen aller strengen Wissenschaft führte, und der Eindruck, den die Werke des Archimedes bei ihm hervorriefen, war ein mächtiger. „Nur zu klar" sagt er selbst am Eingang seiner ältesten Schrift, „lassen diese Werke erkennen, wie sehr alle übrigen Geister dem des Archimedes nachstehen und wie wenig sich irgend Jemand Hoffnung machen darf, etwas zu erfinden, was seinen Schöpfungen nahe kommt". An Archimedes knüpft sich auch sein eigenes

erstes Auftreten in der Literatur mit zwei Studien über das Schwimmen und über den Schwerpunkt, die zunächst handschriftlich herumgingen; gedruckt wurden sie erst spät. Auftriebswägungen zur Bestimmung spezifischer Gewichte haben ihn in zahlreichen Versuchen damals beschäftigt.

Einen regelrechten Abschluß seines Pisaer Studiums scheint er nicht erreicht zu haben; doch erkennen Gönner seine außergewöhnlichen Fähigkeiten und verschaffen ihm zunächst in Florenz die Möglichkeit, durch Erteilung mathematischen Unterrichts seinen Lebensunterhalt zu finden, dann aber, mit 25 Jahren, eine Professur der Mathematik an der Universität Pisa. Hier begannen ihn die Probleme der Bewegungslehre zu beschäftigen, durch deren Lösung er später so Großes vollbrachte. Es muß aber bemerkt werden, daß ihm der Erfolg hierbei durchaus nicht schnell beschieden war, sondern daß zwar alle von ihm bearbeiteten Bewegungsprobleme — der einfache freie Fall, der senkrechte und schiefe Wurf mit seiner eigentümlichen Bahnform, die Pendelbewegung —, wohl schon in der Pisaer Zeit aufgenommen wurden, daß aber ihre bewährte Lösung erst spät und im Zusammenhang aller dieser Probleme sich ergab. Bei den einzelnen Zwischenstufen der Erkenntnis begegnete er auch von Hipparch schon geäußerten, aber noch unvollkommenen Vorstellungen, und er meinte zeitweilig sogar schon durchgedrungen zu sein, was sich aber dann als unzutreffend erwies. Dieses allmähliche Werden ist von hohem Interesse; können wir es hier nicht eingehend verfolgen[1]), so sei doch auf die auch in diesem Falle zu erkennende Irrigkeit der Meinung besonderer angeborener Einsichten hingewiesen[2]). Der Schlüssel zu allem war die Erkenntnis des Trägheitsgesetzes und der Notwendigkeit, die Geschwindigkeiten, welche unter dem Einfluß

[1]) Wohl die beste Darlegung von Galilei's wissenschaftlichem Leben auf Grund neuer Nachforschungen findet man in dem sehr einsichtsvoll geschriebenen Werke von E. Wohlwill „Galilei und sein Kampf für die Kopernikanische Lehre". Verlag Voß, 1909 und 1926. Galileis sämtliche Werke, „Le Opere di Galileo Galilei, Edizione Nazionale", sind in 20 Bänden 1890—1909 erschienen, enthaltend auch den Briefwechsel und zeitgenössische biographische Urkunden.

[2]) Das so oft anzutreffende Wort von der „genialen Intuition" der großen Forscher ist irrig; nur Unverstehende können es erfunden haben. Wohl kann es für den Unkundigen scheinen, als ob zuweilen wichtige Entdeckungen und große Fortschritte plötzlich durch eine besondere Begabung des Erratens der Naturgeheimnisse hervorgebracht worden wären. Doch war dann immer schon genügend viel Naturforscherarbeit — Beobachten und Denken — Anderer vorausgegangen, und es waren damit genügend viele Einblicke in das tatsächliche Verhalten der Natur schon vorrätig gewesen, die dann nur weiter zu verarbeiten waren, was dem bis dahin unbeteiligt Gewesenen, der unverbraucht die Arbeit antritt, unter Umständen allerdings verhältnismäßig leicht fallen kann. Die frühesten Forscher fanden solche Erkenntnisvorräte am allerwenigsten vor; sie hatten fast alles erst selbst zu vollbringen.

einer Kraft erlangt werden, in Abhängigkeit von der Zeit, nicht vom Wege, aufzufassen, d. h. den Begriff der zahlenmäßig zu fassenden Beschleunigung, wie er heute geläufig ist, zu bilden und einzuführen. Die späte Veröffentlichung erfolgte in den berühmten „Discorsi" („Unterredungen"), während inzwischen auch andere Entdeckungen ihn in Anspruch nahmen. Es ist nicht zu bezweifeln, daß schon in der Pisaer Zeit Fall-, Wurf- und Pendel-Beobachtungen ihn beschäftigt haben müssen; jedoch ist davon im einzelnen viel weniger sichere Erinnerung erhalten als lange Zeit hindurch allgemein angenommen wurde.

Die Pisaer Professur, die wenig günstig war, vertauschte Galilei nach drei Jahren mit einer vorteilhafteren zu Padua, wo er dann durch 18 Jahre blieb, die wohl die fruchtbarsten und glücklichsten seines Lebens waren. Hier entwickelte er seine Forschungen über die Bewegungsvorgänge weiter. Es kam aber auch schon die Begründung einer zweiten Wissenschaft hinzu, der Festigkeitslehre. Auch diese Forschungen hat er erst sehr spät, in den „Unterredungen über zwei neue Wissenszweige" („Discorsi") veröffentlicht. Galilei entwickelt die grundlegende Vorstellung von der Zugfestigkeit, fügt diese dann mit dem Hebelgesetz zusammen und entwickelt Sätze über die Bruchfestigkeit von Stäben, Prismen und Zylindern bei verschiedenen Beanspruchungsarten und Abmessungen. Er erkennt und begründet auch die Vorteile besonderer, vom Prisma abweichender Trägerformen für größere Festigkeit bei geringstem Eigengewicht und die Vorteile der Röhrenform gegenüber dem Vollzylinder. Es sind das die ersten Anfänge einer brauchbaren Festigkeitslehre und auch Elastizitätstheorie. Sehr bemerkenswert ist dabei Galileis besonderes Eingehen auf das Wesen der grundlegenden Zugfestigkeit selbst: auf die Ursache der Festigkeit der festen Körper. Er unterscheidet dabei zwei verschiedene Ursachen. Die eine sieht er in der „Kraft des Vakuums", die von außen her die Körper zusammenpreßt, womit er vollkommen zutreffend den Luftdruck zu einer Zeit ins Auge faßt, da derlei noch etwas gänzlich Unbekanntes war. Man schrieb damals alle sichtbaren Wirkungen dieses Druckes, wie z. B. das Aufsteigen des Wassers im Brunnenrohr unter der Pumpe, einer unbestimmten Scheu der Natur vor dem leeren Raum, einem „Horror vacui" zu. Galilei mißt die „Kraft des Vakuums" durch einen besonderen Versuch mit Zylinder und Kolben und außerdem durch die Grenzhöhe von 18 Ellen (10 m), über welche hinaus eine tadellose Pumpe das Wasser im Rohr eines sehr tiefen Brunnens nicht zu saugen vermochte, wie beobachtet wurde. Aus der so berechneten Kraft schließt er nach dem spezifischen Gewicht 9 des Kupfers, daß eine durch die Kraft des Vakuums zu tragende Kupfersäule nur 18:9 = 2 Ellen hoch wäre, womit er fast un-

mittelbar bis zu **Torricelli's** späterer Quecksilbersäule hingelangt. Er mißt auch zum erstenmal in der Größenordnung richtig **das spezifische Gewicht der Luft**, wozu er mangels der noch nicht erfundenen Luftpumpe besondere Kunstgriffe ersonnen hat[1]). Indem er dann die Zugfestigkeit beispielsweise des Marmors viermal so groß findet als der Kraft des Vakuums allein entspräche, kommt er dazu, außer dieser Kraft noch eine besondere zweite, bei den verschiedenen Körpern verschiedene **innere Ursache** ihrer Festigkeit anzunehmen. Welcher Art dieselbe sei, bleibt unentschieden; hier werden die Grenzen des damaligen Erkennens auch für **Galilei** erreicht. Einen Augenblick läßt er seinen Sagredo (der er selbst ist) in den „Discorsi" sagen, daß er „nicht einsehe", „wie die Kohaerenz der kleinsten Teile, bis zu allerkleinsten derselben Materie", die Festigkeit bewirke; dann wird „nicht als absolute Wahrheit, sondern als ein noch unverdauter Gedanke" versucht, auf einem Umwege doch vielleicht mit der Kraft des Vakuums allein auszukommen. Es zeigt dies, wie wenig Anlaß nach dem damaligen Kenntnisstand vorhanden war, das Bestehen besonderer Anziehungskräfte anzunehmen, die von Teil zu Teil der Materie wirkten. Hierzu gab vielmehr erst **Newton's** Entdeckung der allgemeinen Gravitation fast 100 Jahre später den Anstoß. Sehr bemerkenswert ist auch **Galilei's** Erkenntnis, daß die Festigkeit gegenüber der Schwere bei allen Körpern zum Versagen kommt, sobald ihre Abmessungen zu groß werden, und daß deshalb Brücken, Häuser, Bäume und Tiere bei gleichem Stoff und gleicher Bauart gewisse Größenabmessungen nicht überschreiten können, da sie sonst unter ihrer eigenen Last zusammenbrechen würden.

Im „Ersten Tag" der „**Unterredungen**" wird auch manches über **Tonschwingungen und Töne** im Anschluß an **Pythagoras** und an seitherige Bemerkungen von Musikkundigen ins Klare gebracht; so die **Festlegung der Tonhöhe durch die Schwingungszahl**, die **Verhältnisse der Schwingungszahlen wohl- und übelklingender Tonstufen** (konsonanter und dissonanter Intervalle), wie Oktave, Quint, Terz, Sekund. Auch die Abhängigkeit der **Schwingungszahlen der Saiten** von deren Gewicht und von der spannenden Kraft wird vollständig erkannt. Vor allem findet sich da auch eine eingehende Behandlung des später für die ganze Physik so wichtig gewordenen **Mitschwingungs-(Resonanz-)Vorganges**, deren unübertreffliche und erschöpfende Klarheit zu so früher Zeit in Erstaunen versetzt.

---

[1]) Was **Aristoteles** als Wägung der Luft ausgab, nämlich Vergleichung der Gewichte eines einmal vollgeblasenen und dann platt und leer gedrückten Schlauches, kann wegen des Luftauftriebes nur Scheinbestätigung vorgefaßter Meinung gewesen sein, wie es auch sonst bei **Aristoteles** meist zugeht.

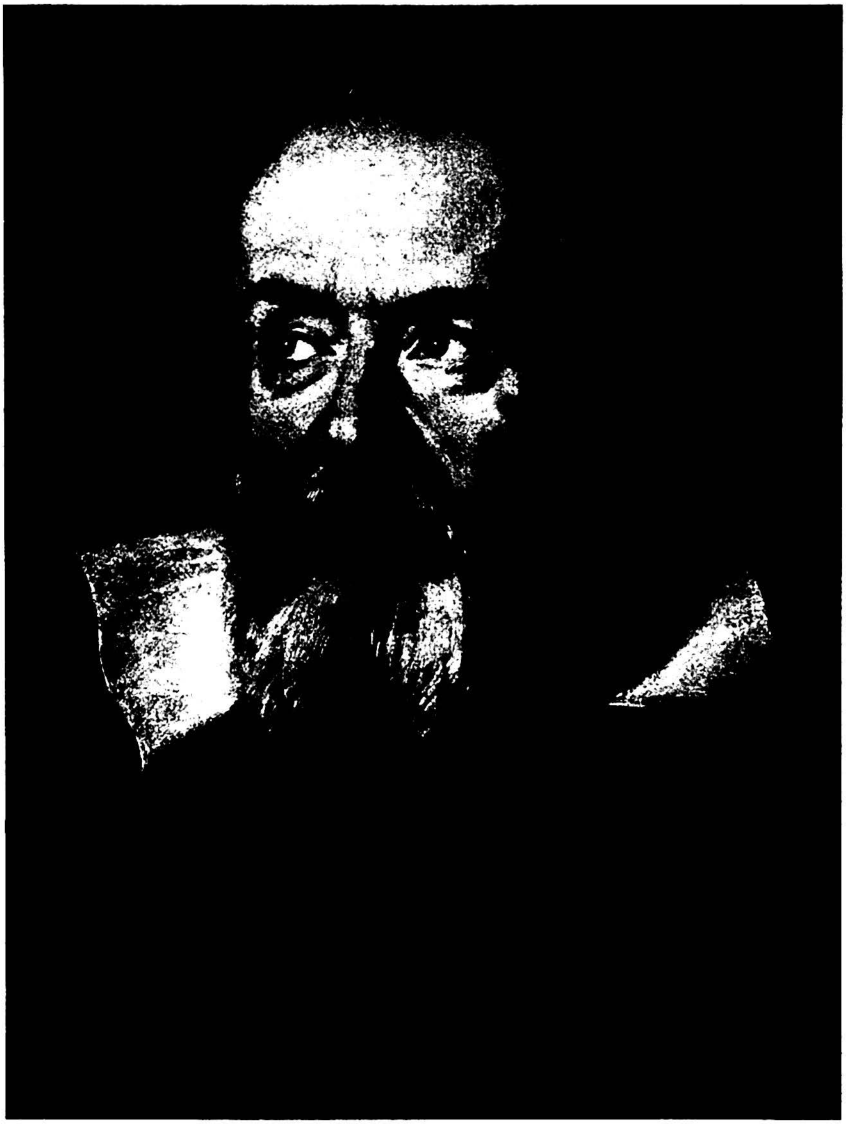
Zur damaligen Zeit war Galilei auch mit Herstellung von Thermometern beschäftigt, ersten Hilfsmitteln zur quantitativen Festlegung des „Warmen" und „Kalten". Luft, Wasser, Alkohol waren die Stoffe, durch deren Wärmeausdehnung er solche zahlenmäßige Fassung zu erreichen suchte, womit er auch auf diesem Gebiet in der Richtung vorging, die Pythagoras' Weisung entsprechend überall als Vorbedingung großer Fortschritte sich erwiesen hat.

In Padua erfolgten auch Galilei's erste Entdeckungen am Himmel, die an umfassender Wichtigkeit seinen Erkenntnissen über die Bewegungsgesetze gleichkommen. Nie vorher Gesehenes und gänzlich Ungeglaubtes erschauten seine Augen, als — zum ersten Male — er ein Fernrohr gegen den Himmel richtete. Dieses damals neue Hilfsmittel, aus Brillengläsern zusammengestellt, war in Holland aufgetaucht, wo das Schleifen von Glaslinsen, die als Brillen schon mindestens 300 Jahre früher in Anwendung gekommen waren[1]), mit besonderer Kunst betrieben wurde. Das Rohr mit den Linsen wurde durch seine erstaunlichen Wirkungen gegenüber fernen irdischen Gegenständen schnell weithin bekannt; Galilei erfand es nach, unmittelbar nachdem er zuerst davon gehört hatte, und er verfertigte dann selbst weit bessere Fernrohre als die, welche auch bald auf Jahrmärkten erhältlich wurden. Er kam in der Folge auch dazu, den Übergang zum Mikroskop zu finden. Schon im Jahre 1609 richtet Galilei sein Fernrohr zuerst nach dem Monde und sieht an den Bergen mit ihrem Schattenwurf in die Täler die deutliche Erden-Ähnlichkeit dieses Himmelskörpers. Dann entdeckte er die kaum glaubliche Zahl der Fixsterne, die dem unbewaffneten Auge bis dahin verborgen geblieben waren, und die, mit dem Fernrohr betrachtet, manche Gegenden des Himmels wie dicht besät erscheinen lassen; den Lichtnebel der Milchstraße löst er zu Sternenheeren auf. Die schon von Kopernikus und Tycho erkannte große Weite des Himmelsraums erscheint jetzt in immer noch ungeahnt gewesener Fülle mit Sonnen besetzt. Aber noch mehr als diese Scharen ohne Zahl fesselten Galilei einige nur durch das Fernrohr erkennbare Sterne, die er zur Seite des Planeten Jupiter entdeckte: die vier Monde des Jupiter. In der Nacht des 7. Januar 1610 sah er sie zuerst; in der folgenden Nacht erkannte er sie richtig als Monde des Jupiter, da sie ihre Stellung zu ihm auffallend gewechselt hatten und doch in einer Linie nahe der Ekliptik geblieben waren; sie umkreisten offenbar den Jupiter. Ein Himmelsgeheimnis war enthüllt. Die Erde mit ihrem Mond stand plötzlich ganz offenbar nicht anders da im Himmelsraum als der Planet Jupiter auch; jeder Planet

[1]) Nachweise noch viel früheren Gebrauchs von Linsen aus Glas und Bergkristall, schon im Altertum, s. in E. Mach's Physikalischer Optik 1921, S. 71 ff.

mit dem gleichen Anspruch eine Welt für sich zu sein und doch dabei selbst um die Sonne bewegt. Die schwer begreiflich erscheinende Bewegungsart, die Kopernikus dem Erdmonde zugeschrieben hatte, um die Erde und außerdem mit dieser um die Sonne, ohne Halt und Stütze, dies mußte nun doch als möglich anerkannt werden. Denn wer nur wollte, konnte durch das Fernrohr am nächtlichen Himmel solche Bewegungen als wirkliche verfolgen, nicht nur an einem, sondern sogar an vier Monden des Jupiter. Gleichzeitig war auch aufs bestimmteste gezeigt, daß es in Wirklichkeit kreisartige Bahnen der Himmelskörper gibt, die nicht die Erde zum Mittelpunkt haben. Wohl nie zuvor und nur selten später wieder ist es einem Einzelnen vergönnt gewesen, einen solchen Reichtum völlig neuer Wahrnehmungen und Gedanken zu erleben, wie damals Galilei bei seinen Fernrohr-Entdeckungen und deren eingehender Verfolgung. Er schreibt darüber selbst an den Florentiner Hof: „Wie unendliches Staunen mich erfüllt, so auch unendlicher Dank gegen Gott, daß es ihm gefallen hat, mich allein zum ersten Beobachter so wunderbarer und allen Jahrhunderten verborgener Dinge zu machen.“

Durch diese Entdeckungen ging auch Galilei's Wunsch in Erfüllung, eine Stellung zu erhalten, die ihn zu keinen bestimmten Vorlesungen verpflichtete; sie wurde ihm vom Fürsten Cosimo II. von Medici in Florenz geboten, wo er dann vom September 1610 an seinen Wohnsitz hatte. Die bisherige Vorlesungstätigkeit in Padua konnte ihn für die Dauer ebensowenig befriedigen als die frühere in Pisa; es mußte an den Universitäten damals durchaus Aristoteles gelehrt werden. Galilei scheint dabei einigen Humor entwickelt zu haben; aber irrig wäre es anzunehmen, daß er über seine eigenen Studien und Entdeckungen vorgetragen hätte. Dies wäre auf schroffen Widerspruch gestoßen; galt doch Kopernikus bei der Mehrheit noch als ein Mensch, den man verlachen und auszischen müsse. Die ersten Professoren der Philosophie und Physik an den italienischen Universitäten protestierten heftig gegen den „Sternenboten“ („Sidereus nuntius“), in welchem Galilei seine neuen Entdeckungen in Druck bekannt gab; sie widerlegten das durch das Fernrohr Gesehene mittels Logik; wüster, schlecht begründeter, leichtfertig verbreiteter Widerspruch spielte die Hauptrolle. Galilei unternahm es demgegenüber einerseits gute Fernrohre in größerer Zahl herzustellen und sie einflußreichen Persönlichkeiten zu ihrem Gebrauche zukommen zu lassen; andererseits hielt er drei öffentliche Vorträge vor großer Zuhörerschaft. Aber seine klare Rede und seine guten Instrumente waren machtlos gegen die Widersacher, die auch beharrlich sich weigerten, den Mond, die Jupitertrabanten oder auch nur das Fernrohr zu sehen. Unter den Fachleuten war es fast nur Galilei's jüngerer Zeitgenosse Kepler im fernen Prag, der von Anfang an als verständiger, voller Bewunderer



Galileo Galilei

nach Sustermans' Gemälde aus dem Jahre 1635.
Das Original dieses Bildnisses in den Uffizien zu Florenz zeigt Bart und Kopfhaar rötlich-blond, doch schon stark ergraut, die Augenfarbe blau-grau. Der Wuchs wird von mehr als mittlerer Höhe angegeben.

für ihn sich einsetzte. Daneben war allerdings bei gebildeten Laien, denen kein gelehrtes Wissen den unbefangenen Glauben erschwerte, durch den schnell sich verbreitenden „Sternenboten" ein gewaltiger Eindruck entstanden.

Galilei selbst war zunächst weiter andauernd mit Himmelsbeobachtungen durch sein Fernrohr beschäftigt. Die Verfolgung der Jupitermonde nahm ihn sehr in Anspruch; doch gelang es schwer, ihre Umlaufszeiten zu bestimmen, da das Fernrohr noch nicht für gute Messungen eingerichtet war. Daß der innerste Mond am schnellsten umlief, der äußerste am langsamsten, erkannte er bald; die Angaben für die Umlaufszeiten erfolgten etwas später. Alsdann entdeckte er die eigentümliche Gestaltung des Saturn, die wie eine Dreiteilung aussah, als erste Andeutung des Ringsystems dieses Planeten. Weiter fand er die Lichtgestalten (Phasen) der Venus — gleich denen des Mondes, womit erwiesen war, daß dieser Planet an sich dunkel und nur durch die Sonne erleuchtet ist, was damals nicht nur nicht feststand, sondern geradezu als unhaltbar angesehen wurde. Gleichzeitig zeigten diese Lichtgestalten auch deutlich, daß Venus um die Sonne läuft. Sah man so durch das Fernrohr Sterne, dunkel wie die Erde, am Himmel leuchten und wandern, so wurde es immer weniger unglaublich, daß auch die dunkle Erde ein Planet, ein Stern ist, um die Sonne laufend. Endlich zeigten Galilei's Beobachtungen an Flecken und Fackeln der Sonne, daß dieser gewaltige Ball Achsendrehung besitzt; zum erstenmal war damit diese der Erde zugeschriebene Bewegung unmittelbar an einem Himmelskörper zu sehen gewesen.

Alles dies erhob Kopernikus' Weltbild für Galilei so sehr zur Gewißheit, daß er zu dieser Zeit allmählich aus seiner bisher geübten Zurückhaltung heraustrat und offen zu äußern begann, wie ihm Erde, Planetensystem und Fixsternhimmel erscheinen. Während zu dieser Zeit seine Himmelsentdeckungen mit der Verbreitung guter Fernrohre allmählich allgemein anerkannt wurden, erwuchs ihm durch seine freimütigen Äußerungen über die Schlüsse, die er aus diesen Entdeckungen zog, eine neue Gegnerschaft. Die sich drehende Erde war der Abscheu aller Aristoteles-Naturen nicht nur, sondern besonders auch der kirchlichen Machthaber. Mit je besseren Gründen Galilei die Achsendrehung gegenüber allen Einwendungen zu verteidigen wußte, um so mehr zeigten sich die Gegner erbittert. Jesuiten und Papst fingen an, für ihre Herrschaft besorgt zu sein, wenn Lehren um sich griffen, die den ihren widersprachen. Am 25. Februar 1615 begann die römische Inquisition mit Galilei sich zu beschäftigen; sie ließ ihn dann alle folgenden fast 30 Jahre bis zu seinem Tode nicht aus den Augen, ja verfolgte ihn mit zuneh-

mender Schwere. Galilei war dabei 20 Jahre lang immer voll Hoffnung, daß es ihm gelingen müsse, gelehrte Jesuiten, Kardinäle, ja den Papst von dem Zutreffen seiner Einsichten zu überzeugen; er übersah, daß seine Gegner gar nicht den Wunsch und die Fähigkeiten hatten, ihm ernstlich zu folgen, daß es sich bei den Inquisitionsverhandlungen von vornherein gar nicht um ein Urteil nach möglichster Erkenntnis der Wirklichkeit handelte, sondern um die feststehende Absicht, mit der kirchlichen Lehrmeinung herrschend zu bleiben. So wurden zuerst 1616 Galilei's Schriften verboten und er selbst mit Androhung von Gefängnis ermahnt, seine „irrtümliche Meinung" aufzugeben. Er fügte sich dem. — Die spätere Folge zeigte, daß dies nur ebenso scheinbar geschehen war, als seine Richter seine Meinung untersucht hatten. Galilei verhielt sich hier gegenüber der Kirchengewalt bis zu Ende anders als Jordanus Brunus, der 16 Jahre vorher noch auf dem schon entzündeten Scheiterhaufen mit Abscheu und unbeugsam von solcher „Kirche", die der Erkenntnis der Wahrheit widerstrebt, sich abwandte als man ihm zuletzt noch versöhnend das Kreuz entgegenhalten wollte. Brunus hat auf dem Scheiterhaufen sein irdisches Werk vollendet. Galilei's Werk war noch im Werden; in ihm selbst war aufgespeichert, was er noch zu geben hatte; seine zwei wichtigsten Werke waren noch nicht geschrieben, nur vielfach vorbereitet; es war ihm gegeben, vor dem Verlust zu bewahren, was noch Grundstein aller weiteren Naturerkenntnis auf diesem Planeten werden sollte und womit erst recht die Wahrheit zum Siege kam. Der eingehendste Durchforscher aller Galilei betreffenden Urkunden[1]) sagt zu diesen erschütternden Stunden in Galilei's Leben: „Keine Aufzeichnung von seiner Hand hat uns das Gedächtnis jener Stunden tiefster Erschütterung und inneren Ringens bewahrt, an die wir um des menschlichen Herzens willen glauben müssen. Wenn wir nach kurzer Pause wieder von ihm hören, ist alles geschehen, die große Wandlung vollzogen." Noch war Galilei frei, und der Schutz seines Großherzogs zeigte sich nicht ganz unwirksam. Seine Tätigkeit in den folgenden Jahren wird ausschließlich in Briefen merklich, die keinen Zweifel darüber lassen, daß im vertraulichen Verkehr die von der Inquisition gezogenen Grenzen nicht allzu ängstlich geachtet wurden.

Im Jahre 1624 gab eine neue Papstwahl Galilei neue Hoffnung. Er reiste nach Rom und trat vor dem Papst mit voller Wärme für die Wahrheit der Kopernikanischen Lehre ein, um eine Aufhebung des Inquisitionsurteils zu erwirken. Er spricht dabei auch im Sinne der Kirche und hebt hervor, daß ein Makel auf die wissenschaftliche Einsicht der Katholiken zu fallen drohe. Er wurde in sechsmaliger Unterredung gnä-

[1]) E. Wohlwill. Siehe das schon genannte Werk, hier besonders Bd. I. S. 630. 1909.

dig angehört, ohne daß etwas erfolgte. Nun vollendete Galilei das eine seiner lang vorbereiteten Werke: Der „Dialog über die beiden größten Weltsysteme", in welchem er das Kopernikanische System gegen alle erdenklichen Einwände ins Klare stellt und mit einer Reihe von besonderen Erfahrungsbeweisen stützt. Unter den drei redenden Personen dieser Dialoge fällt diese Aufgabe besonders dem Salviati zu, der in Galilei's eigenster Weise rücksichtsvolle Milde gegen den Gegner mit zwingender Gewalt der Gedankengänge verbindet. Simplicio ist der Gelehrte aus der Schule des Aristoteles, ohne aber gleichzeitig der beschränkte Kopf zu sein, wie so viele lebende Gegner Galilei's es waren; er erleidet in den Dialogen so viele Niederlagen, als er Auseinandersetzungen anfängt. Die dritte Person, Sagredo, ist ein heiterer, liebenswürdiger Mitwirkender und Zeuge, der seine Freude am Gewinnen neuer Einsichten hat; er zeigt das Gefühl des befreiten Gefangenen, das so viele Zeitgenossen dann als Leser der Dialoge in noch erhaltenen Briefen kundgaben. Hier faßt Galilei alles zusammen, was seine Lebensarbeit ihm in bezug auf die Frage der Erdbewegung ergeben hatte. Vieles hiervon ist im Vorstehenden schon bemerkt worden. Als grundlegend wichtig treten aber in diesen Dialogen auch die Erkenntnis von der ungestörten Übereinanderlagerung der Bewegungen verschiedenen Ursprungs und das Trägheitsgesetz auf. So einfach dies alles ist — es war doch niemandem vor Galilei klar geworden, auch Kepler nicht, und eine Fülle von Einwendungen gegen die Erdbewegung war aus der Unklarheit dauernd hervorgegangen. Nicht nur deren Beseitigung war aber der Gewinn, den Galilei hier brachte, sondern geradezu die Begründung der Gesamtwissenschaft von der Bewegungslehre und damit der gesamten Physik der Materie. Die Dialoge bringen die Erfahrungsbeweise in Gestalt von Wahrnehmungen, die viele vorher schon hätten machen können, die aber nicht genügend klar erfaßt wurden, großenteils sicherlich auch in Behinderung durch angelerntes aristotelisches Geschwätz. So z. B. daß die Kugel, die der Hand des Reiters im schnellsten Galopp entfällt, nicht hinter ihm zurückbleibt, sondern daß sie die Geschwindigkeit des Reiters bewahrt, auch wenn sie gleichzeitig fällt. Oder die Erfahrung, die man auf beliebig schnell dahinsegelndem Schiffe machen kann, daß alle Bewegungsvorgänge auf demselben genau so ablaufen, wie auf ruhendem Schiffe, so daß es in einem abgeschlossenen Raum auf dem Schiffe, wo man die Versuche anstellte, unmöglich wäre zu entscheiden, ob das Schiff ruht oder sich bewegt. Auch die besonderen Erfahrungen, die beim Abfahren oder Halten des Schiffes zu machen sind und die das Trägheitsgesetz hervortreten lassen, werden behandelt, z. B. an Wasser in einem Gefäße auf einem Schiff. Alles dies wird anschaulich zur Geltung gebracht.

Der Dialog erhielt die päpstliche Druckerlaubnis, wenn auch erst nach Änderungen, besonders am Anfange und am Schluß, auf die Galilei willig eingegangen war. Die Veröffentlichung erweckte große Begeisterung auf der einen Seite, — aber auch wütenden Haß auf der anderen. Je weiter die Erkenntnis bei Galilei fortschritt, desto schärfer schieden sich ihr gegenüber Lichtgeister und Dunkelgeister voneinander; aber die ersteren waren, wie immer, in der Minderzahl, und die Macht war in den Händen der letzteren. Solche Macht will unumschränkt gewalttätig herrschen, denn sie fühlt, daß sie mit der von selber ablaufenden Wirklichkeit uneins ist und daß daher schon das kleinste Aufkommen von gewöhnlichem Wirklichkeitssinn ihr tödlich sein könnte. Solche Macht frißt aber mittels Umtrieben auch leicht um sich und schafft sich aus schwachen Geistern große Mehrheiten. Die Jesuiten besorgten dies gegenüber Galilei mit allem Geschick; sie sahen sich mit verbissenem Grimm der Lächerlichkeit preisgegeben, da des Simplicio vollständige Niederlagen in den Dialogen auch die ihrigen waren; sie ruhten nicht, bis sie dem Papst glaubhaft gemacht hatten, daß mit Simplicio sogar niemand anderes als er selber gemeint sei. Am 1. Oktober 1632 wurde der nun 69 Jahre alte Galilei wieder vor die Inquisition nach Rom geladen. Nach für ihn sehr beschwerlicher Reise erfolgte ein Verhör, das in die vom Papst schon vorher festgesetzte förmliche Abschwörung der Lehre von der bewegten Erde seitens Galilei's mündete. Einzelheiten über die Aussagen Galilei's hierbei werden wahrheitsgemäß nicht mehr feststellbar sein, da die Akten des Verhörs, die überhaupt erst mehr als 250 Jahre später öffentlich zugänglich wurden, sehr der Einschiebungen und Tilgungen verdächtig erscheinen[1]). Von einer Prüfung der Nachweise für Galilei's Behauptungen, von einer Abwägung der Gründe, die für ihn sprächen, ist nirgends die Rede; wohl aber scheinen Folterwerkzeuge bei der Verhandlung bereitgestellt gewesen zu sein. Jedenfalls verließ Galilei Rom als Gefangener der Inquisition, und er blieb es bis zu seinem Tode. Er durfte zwar nach einiger Zeit sein in der Umgebung von Florenz gelegenes Landhaus Arcetri zur Wohnung nehmen; jedoch der Florentiner Inquisitor überwachte ihn beständig genau. Er war fast ganz ans Haus gebunden und durfte Besuche nur in Auswahl empfangen.

Die Wirkung nach außen war erstarrend. Von einem Widerspruch namens der Wissenschaft, etwa an Universitäten, hat die Geschichte nichts berichtet.

In seiner Gefangenschaft verfaßte Galilei noch sein letztes, zweites Hauptwerk, die „Unterredungen über zwei neue Wissenschaften" („Discorsi"), von denen wir teilweise schon oben berichtet haben. Es enthält alle Forschungen über die Bewegungslehre, die ihn seit jungen

[1]) Siehe das schon angegebene Werk von Wohlwill, Bd. II, S. 298 ff.

Jahren fast ohne Unterbrechung beschäftigt hatten und womit er diese Wissenschaft geschaffen hat. Er gibt hier zum ersten Mal in vollständiger Darstellung und Begründung die Ergebnisse und entwickelt eine Fülle von Folgesätzen daraus. Hier findet man die Gesetze des freien Falles, des Falles auf der schiefen Ebene mit den zugehörigen Versuchen — wobei die Zeiten, da es noch keine guten Uhren gab, durch ausfließende Wassermengen gemessen wurden —, ferner die eingehende Betrachtung der Wurfbewegung, die Pendelgesetze und die Betrachtung mancher anderen bemerkenswerten Bewegungsvorgänge. Der Druck des Werkes war durch das Inquisitionsverbot in sämtlichen katholischen Ländern vereitelt; doch gelang es freundschaftlichen Bemühungen, die Herausgabe durch einen holländischen Buchhändler besorgen zu lassen, wobei verheimlicht werden mußte, daß dies nach Galilei's Wunsch sei. Als das Werk erschien, war Galilei 74 Jahre alt. Schon ein Jahr vorher war er nach längerem, schmerzhaftem Augenleiden erblindet. Gesuche an den Papst, den einsamen, entlegenen Ort, wo jede Hilfeleistung erschwert war, mit seiner Heimat Florenz vertauschen zu dürfen, waren mit rohen Worten und unter Androhung des römischen Kerkers abgewiesen worden. Endlich wurde der Inquisitor in Begleitung eines Arztes hingeschickt; er fand den unheilbar Erblindeten in so elendem Zustand, daß er mehr das Aussehen eines Leichnams als eines Lebenden gehabt habe. Eine kurze Überführung nach Florenz zu ärztlicher Behandlung wurde dann mit dem Befehl gestattet, bei Strafe von lebenslänglicher Einkerkerung das Haus nicht zu verlassen und mit niemandem, wer es auch sei, von der verbotenen Lehre der Erdbewegung zu reden. Wieder nach Arcetri zurückgebracht, starb Galilei im Alter von 78 Jahren am 8. Januar 1642. Erst 95 Jahre später wurde ihm eine würdige Grabstätte gewährt.

Es bewährte sich, was Galilei schon nach seiner ersten Berührung mit der Inquisition in einem Briefe schrieb: „Ich glaube, daß es in der Welt keinen größeren Haß gibt, als den der Unwissenheit gegen das Wissen." — Das Fortschreiten des Wissens hat sich dennoch als unaufhaltsam gezeigt. Aber eben weil das Wissen immer wieder neue Grenzen überschreitet und weil dies machthabenden Dunkelgeistern, die auf Nicht-Wissen ihre Herrschaft gründen, immer wieder bedrohlich werden kann, stirbt jener Haß doch nicht aus; er hat nur immer wieder andere Zielrichtungen. Stets muß er sich aber gegen die Lichtgeister wenden, die neues Wissen bringen, und stets wird er verheerend wirken, solange die Menge der Unwissenden, die ihm zur Verfügung stehen, nicht eingedämmt ist.

Johannes Kepler
(1571—1630).

Später geboren und früher verstorben als Galilei, stand Kepler zu seinem älteren Zeitgenossen etwa — sofern solche Vergleiche je treffen können — wie Schiller zu Goethe oder wie Liszt zu R. Wagner. Doch hatten sich Kepler und Galilei nie getroffen; nur ihr Briefwechsel zeigt, daß es zwei Große waren, die, rings umgeben von Unverstand, als Einzelne einander zu verstehen und zu würdigen vermochten. Besonders von seiten Keplers ist dies weitgehend der Fall; denn er war von sehr feiner, zarter Geistesbeschaffenheit und stets bereit zu Bewunderung und Anerkennung von Zeitgenossen und Vorgängern, worin er in seinen Schriften — ganz im Gegensatz zum Gebrauch seiner Zeit — sogar manchmal etwas zu weit ging[1]).

Kepler ist der große Verfeinerer optischer Kenntnis sowohl, als auch der Vorstellungen des Kopernikanischen Planetensystems. In ersterer Hinsicht ist er Begründer der „geometrischen Optik", d. i. aller aus der gradlinigen Ausbreitung, Zurückwerfung und Brechung des Lichtes folgenden Kenntnisse, in letzterer Hinsicht Entdecker der drei Planetengesetze, die grundlegend für allen weiteren Fortschritt in der Himmels-Mechanik waren. Während es noch als verboten galt, an die kreisende Erde überhaupt zu denken, ermittelte Kepler auch schon die genauere Form ihrer Bahn um die Sonne, sowie die der Bahnen der anderen Planeten, die Bewegungsweise in der Bahn und die Beziehungen der Umlaufgeschwindigkeiten der verschiedenen Planeten zueinander. Die dies zusammenfassenden drei „Kepler'schen Gesetze" lauten bekanntlich: 1. Die Bahnen der Planeten sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht; 2. Der von der Sonne zum Planeten gezogene Leitstrahl beschreibt in gleichen Zeiten gleiche Flächen; 3. Die Quadrate der Umlaufszeiten verschiedener Planeten verhalten sich wie die Kuben von deren mittleren Abständen von der Sonne. Diese Feinheit der Kenntnis entnahm Kepler aus Tycho Brahe's feinen Beobachtungen mit einem Aufwand von Mühe und Scharfsinn, der nicht vorher, aber auch lange nachher nicht seinesgleichen hat. Es war der so erlangten Kenntnis auch lange nichts hinzuzufügen. Erst Newton hat 70 Jahre später mit Aufdeckung der allgemeinen Gravitation, gestützt auf Kepler, einen weiteren, dann allerdings weitumfassenden Schritt ins Unbekannte hinzufügen können.

---

[1]) So z. B. in bezug auf den inhaltarmen Schreiber und Marktschreier Porta, der zu jener Zeit eine gewisse Rolle spielte; ja auch Aristoteles läßt er meist allzuviel gelten.

Kepler war den Verfolgungen, die Galilei um seiner Erkenntnis willen zu erdulden hatte, insoweit entzogen, als ihm schon Luther's Tat zugute kam; er war Protestant. Doch war sein Leben im Lande des 30jährigen Krieges, der in seinem 49. Lebensjahr begann, voll Mißgeschick und Entbehrungen, und gerade als Protestant war er vielen Verfolgungen ausgesetzt.

Er war aus ursprünglich adeliger, aber sehr verarmter Familie geboren am 27. Dezember 1571 zu Weil der Stadt in Württemberg[1]). Der Vater war meist im Kriegsdienst in fremden Ländern abwesend, und Johannes mußte zu Hause bei Landarbeit helfen, durfte daneben aber auch Schulen besuchen. Als man sah, daß er wegen zu zarter Körperbeschaffenheit sonst nichts taugte, wurde ihm das Studium an der Universität Tübingen ermöglicht, die er von seinem 18. Jahr an beziehen konnte und wo er infolge guter Schulzeugnisse sogleich Unterstützung erhielt. Dort hatte er das Glück, in Mästlin einen vortrefflichen Lehrer der Mathematik zu finden, der ihn auch in Kopernikus' Lehre einweihte, die man damals auch in Tübingen noch nicht allzu offen zu bekennen wagte[2]). Nach zwei Jahren erwarb er mit Auszeichnung die Magisterwürde; dann sollte er Theologie studieren. Doch ehe dieses Studium zu Ende kam, eröffnete sich ihm die Aussicht, die Mathematik-Professur an der evangelischen Schule in Graz zu erhalten, die er mit Mästlin's Rat auch annahm. Mit 23 Jahren begann er dort seine Tätigkeit, die aber auch alljährliches Kalendermachen mit Vorhersagen von Wetter und Politik umfaßte. Solche Sterndeuterei mußte leider für Kepler sogar bis zu seinem Lebensende seine Haupterwerbsquelle bleiben. Er nennt sie „die närrische und liederliche Tochter der Himmelskunde, ohne die die alte verständige Mutter Hunger leiden müsse"[3]).

---

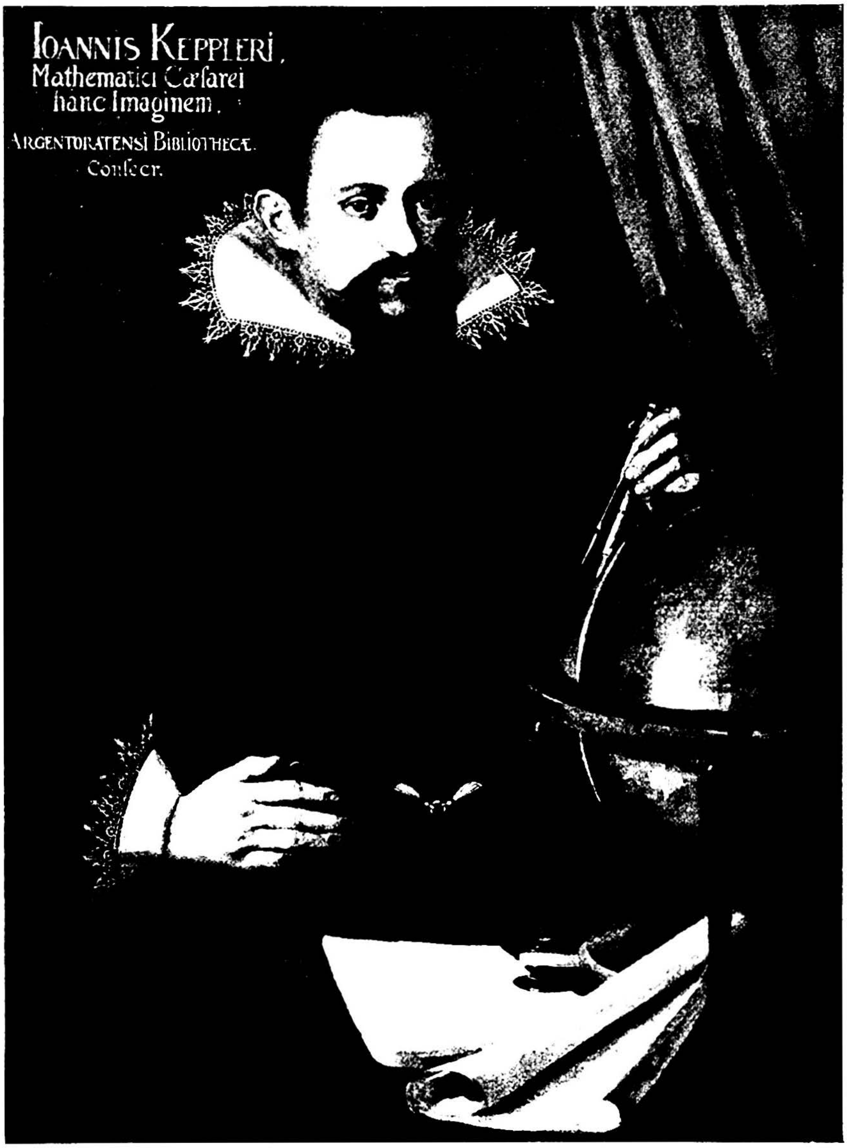
[1]) Die Stadt besitzt seit 1870 ein schönes, würdiges Kepler-Standbild.

[2]) Auch sogar Luther und Melanchthon waren ihre Gegner, gefangen durch das Alte Testament, jedoch ohne Staatsgewalt anzuwenden.

[3]) In einer besonderen Schrift („Warnung", Opera omnia, herausgegeben von Ch. Frisch 1858 Bd. I S. 547) verwahrt sich Kepler mit tiefem Ernst vor Mißdeutungen ob der Pflege dieses „Bastards" der Wissenschaft und warnt vor Verwechselungen des „Sternguckerischen Aberglaubens" mit der „hochvernünftigen Astronomia". Und bei anderer Gelegenheit (in einem Briefe, Opera, Frisch, Bd. VIII, S. 811) sagt er: „Gleich als wan die Wercke Gottes anderst nit würdig wären, als daß man sie anschauen und Jnen nachrechnen sollte, sie haben dan allewegen etwas zu bedeuten, das sich auff solcher unverständigen Leutte seltzame humores richten müsse." Dennoch erleichtert ihm sein unbeirrbares Festhalten an den immer unergründet bleibenden Zusammenhängen von Geisterwelt und materieller Welt, also auch von Menschenschicksalen und Gestirnbewegungen, auch diese Art Tätigkeit. Man kann hierzu das IV. Buch seiner **„Harmonices Mundi"** vergleichen.

In die Grazer Zeit fallen Kepler's erste, dann nie ruhende Bemühungen, Regelmäßigkeiten im Planetensystem zu finden. Hier gründete er auch eine Familie; doch war ihm kein ruhiges Glück beschieden. Die bald einsetzenden Protestanten-Verfolgungen zerstörten alle gesicherten Besitzverhältnisse, und schließlich wurden alle Diener der protestantischen Kirche und Schule des Landes verwiesen, da ein von Jesuiten erzogener Habsburger (Erzherzog Ferdinand) an die Herrschaft kam. Kepler als Einzigem wurde die Rückkehr gestattet. Man schätzte seine seltenen Fähigkeiten; doch zeigte sich bald, daß man seinen Übertritt in die römische Kirche erwartete. Da sein Gewissen ihm dies nicht gestattete und er ernst und offen hierüber sich äußerte, setzten allerlei Maßregelungen ein. In dieser drangvollen Zeit — auch zwei Kinder waren ihm gestorben — um das Jahr 1600, als Einkerkerungen und Folterung zu drohen begannen, verschaffte ihm endlich eine Einladung zu Tycho Brahe die erwünschte Möglichkeit, das ihm verleidete Graz zu verlassen. Tycho war damals eben nach Prag übergesiedelt und Kepler wurde dort sein Gehilfe und nach Tycho's frühem Tode sein Nachfolger mit dem Titel „Kaiserlicher Mathematikus". Leider verfolgte ihn aber das Geschick dieser wirren deutschen Zeit, das ihn nie verließ, auch hierher. Sein schönes Gehalt wurde selten oder nur verkürzt ausbezahlt, so daß sein häusliches Leben recht ungemütlich sich gestaltete, um so mehr, als später auch noch Kriegswirren in nächster Nähe einsetzten und Seuche ausbrach.

Trotz alledem hat Kepler gerade in den 11 Jahren seines Prager Aufenthaltes den Hauptteil seiner Lebensarbeit geleistet. Er hatte hier Tycho's wissenschaftliches Vermächtnis übernommen: die umfangreichen Niederschriften von Tycho's vieljährigen feinen Ausmessungen der Planetenörter, zusammen mit der Aufgabe der wissenschaftlichen Verwertung dieser Beobachtungen und der Fertigstellung der „Rudolfinischen Tafeln", welche die Planetenörter für zukünftige Zeiten angeben sollten. Diese Aufgaben faßte Kepler in der gründlichst möglichen Weise an; er wollte vor allem die wahren Bahnen der Planeten aus den Tychonischen Beobachtungen mit aller Genauigkeit feststellen, die diese Beobachtungen nur erlaubten. Daß man mit den bisher allein in Betracht gezogenen kreisförmigen und mit gleichbleibender Geschwindigkeit durchlaufenen Bahnen nicht auskam, bemerkte er bald. Weiteres Fortschreiten war deshalb so sehr schwierig, weil die beobachteten Planetenbahnen vom bewegten Standpunkt, nämlich vom Planeten Erde aus aufgenommen waren und weil die genaue Bahn und Bewegungsart der Erde ebenso unbekannt war wie die des beobachteten Planeten. Kepler verwendete 6 Jahre unermüdlicher Arbeit allein nur auf die Bewältigung der Marsbahn. Nachdem alle Arten exzentrischer, um die Sonne



Johannes Kepler

gelegter Kreisbahnen für Mars und Erde versucht waren, und alles nicht zum Ziele führte, wurden der Reihe nach verschiedenartige ungleichförmige Bewegungen in den Kreisen versucht. Eine derselben schien befriedigend, nämlich die, bei welcher die vom Leitstrahl in gleichen Zeiten beschriebenen Flächen gleich wären. Damit war gefunden, was nachher das zweite Gesetz bildet. Aber Kepler's Entzücken über diesen Fund war von kurzer Dauer. Die Übereinstimmung mit der durch Tycho's Beobachtungen festgehaltenen Wirklichkeit war zwar besser als je, aber sie war nicht vollständig; es blieben kleine Abweichungen übrig. Kepler war nicht der Mann, der bei teilweisen Erfolgen stehen geblieben wäre; ihm war es außerdem gegeben, hier ein erstes großes Beispiel in der Geschichte der Naturforschung hinzustellen dafür, wie man Abweichungen zwischen Rechnung und Beobachtung zu beurteilen habe. Die Abweichungen waren zwar klein, aber — dies war das Wesentliche — sie waren doch größer als mögliche Ungenauigkeiten in Tycho's Beobachtungen. Sobald derartiges eintritt, ist zu schließen, daß noch Unbekanntes vorliege[1]). Kepler begann nun das Unbekannte in der Form der Planetenbahnen zu suchen. Man hatte bis dahin nur den Kreis als Bahn beständiger Himmelskörper ernstlich in Betracht gezogen; nur die Kometen hatten allerdings schon andere Bahnen verraten. Groß konnte die Abweichung von der Kreisbahn beim Mars nicht sein; Kepler versuchte es der Reihe nach mit allerlei anders gekrümmten geschlossenen Bahnen. Die Ellipse war damals nicht näherliegend als beliebige andere Möglichkeiten; aber nur Ellipsenbahnen mit der Sonne im Brennpunkt genügten den Tychonischen Beobachtungen, und zwar genügten sie vollständig, wenn der schon vorhandene Satz von den Flächen der Leitstrahlen hinzugenommen wurde. Damit war die Bahn des Mars nach 6 Jahren vollständig bezwungen, und die beiden ersten Gesetze, die nun, wie für Mars und Erde, auch für die anderen Planeten als gültig angenommen werden durften, waren gefunden. Die Veröffentlichung erfolgte in seiner „Neuen, auf wahre Ursachen gegründeten Sternkunde" (1609)[2]).

[1]) Dieses Grundgefühl des einfachsten Denkens ist heute im Versinken. Wo sind die Forscher, wo gelten sie auch nur als Maßstab, die wie Kepler über Jahre hinaus ihre „Theorie" abänderten, ohne sie zu veröffentlichen, so lange, bis sie in jeder Beziehung den feinsten, zurzeit möglichen Beobachtungen genügte? Aber auch die Beobachter sind kaum mehr da, werden auch gar nicht verlangt, die, wie Tycho, befähigt und auch gewillt sind, vor allem das tatsächliche Verhalten der Natur einwandfrei und mit größter zurzeit möglicher Verfeinerung festzustellen, ehe Weiteres damit vorgenommen wird.

[2]) Eine briefliche Mitteilung über den Fund der Ellipsenbahnen ist bereits v. 11. Okt. 1605 vorhanden; siehe M. Caspar's u. W. v. Dyk's Herausgabe von Kepler's Briefen, Bd. I, S. 253, 1930. Die „Neue Astronomie" ist vollständig in deutscher Übersetzung erschienen (M. Caspar) im Verlag Oldenbourg 1929.

Gleichzeitig war Kepler auch mit optischen Untersuchungen beschäftigt. Galilei's eben erschienener „Sternbote" mit den Erfolgen der ersten himmlischen Fernrohr-Beobachtungen hatte ihn veranlaßt, die Strahlengänge im Fernrohr und dazu das Verhalten der Lichtstrahlen überhaupt eingehend zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in zwei Werken zusammengefaßt („Paralipomena" und „Dioptrik" benannt, 1604 und 1611), die seit Euklid bis dahin allmählich mehr oder weniger schon Verstandenes zusammenfaßten und ganz klarstellten, wie z. B. die Lochkammer-Abbildung („camera obscura"), außerdem aber weit darüber hinaus gehen. So wird da zum ersten Mal die Abnahme der Lichtstärke mit dem verkehrten Entfernungsquadrat bei freier Ausbreitung von kleiner Lichtquelle aus festgestellt, die richtige Auffassung und Ortsbestimmung von Spiegelbildern gezeigt, Lichtbrechung und Linsenwirkung untersucht und auch die Erklärung der Strahlengänge im Auge und damit alles Wesentlichen beim Sehen, soweit es das Licht selbst betrifft, gegeben, auch einschließend das Verständnis des räumlichen (stereoskopischen) Sehens mittels zweier Augen. Zwar begnügte sich Kepler dabei noch mit einem nur angenäherten Lichtbrechungsgesetz, doch hinderte ihn das nicht, auch die totale Reflexion zu erkennen und richtig aufzufassen, endlich auch diejenige Fernrohreinrichtung mit zwei konvexen Linsen zum ersten Mal anzugeben, die heute anstelle von Galilei's Fernrohr (welches eine konvexe mit einer hohlen Linse zusammensetzt) ausschließlich und ganz allgemein der Himmelsbeobachtung und auch vielen sonstigen Zwecken dient, das „Kepler'sche Fernrohr". Auch das heutige „Teleobjektiv" (Fernbildglas) ist dort schon angegeben.

Unterdessen wurde Prag zunehmend leidvoller für Kepler. Der „Kaiserliche Mathematikus" blieb ohne Mittel zum Lebensunterhalt, und doch wollte der Kaiser (Rudolf II., dann Matthias) seinen Kepler nicht fortlassen. Der Tod der Frau und eines Kindes kam dazu. So hatte sich Kepler allmählich mit dem Gedanken vertraut gemacht, die liebgewordene Stätte verlassen zu müssen, und er hielt Umschau in seiner Heimat. Der Stuttgarter Hof hätte ihn gern an der Landeshochschule gesehen; jedoch Kepler's selbständige Geistes-Entwicklung machte ihn bei der geistlichen Oberbehörde, obgleich diese auch lutherisch war, mißliebig[1]). So zog er 1612 nach Linz in ein Schulamt, wo er 14 Jahre blieb. Hier verheiratete er sich zum zweiten Mal. In diese Zeit fällt aber auch wieder manches Leid, so der Hexenprozeß, in den Übelwollende

---

[1]) Man vergleiche in dieser Beziehung das Schicksal Jakob Böhme's in Schlesien, in den gleichen Jahren, wo der von Luther neuentzündete Glaubenseifer in noch betrüblicherer Weise, ebenfalls sogar unter den eigenen Glaubensgenossen, in die Irre gegangen war.

seine Mutter verwickelt hatten; er rettete sie, herbeigeeilt, durch wirksame Verteidigung eben noch vor der Folterung. Seine Arbeit in Linz war vor allem seinem umfassendsten Werk, den „Harmonices Mundi“ („Zusammenklänge der Welten oder „Weltharmonik“[1])) und der Vollendung der Rudolfinischen Planetentafeln gewidmet, zu deren Druck er nach Ulm übersiedelte. Die Tafeln blieben dann für ein Jahrhundert die Grundlage aller Planetenberechnungen.

Von den fünf Büchern der „Zusammenklänge“ (erschienen 1619) ist das Fünfte von unvergänglichem Wert geworden durch die Verkündigung des dritten Gesetzes der Planetenbewegung, welches hier in Zusammenfassung mit den beiden ersten Gesetzen erscheint. Kepler fand es aus den von Kopernikus und Tycho nach ihren Himmelsbeobachtungen gegebenen Zahlen; er bezeichnet es selbst als das Ergebnis einer siebzehnjährigen Arbeit. Wie hoch er gerade diesen Teil der „Zusammenklänge“ einschätzt, zeigt auch in der Vorrede der Satz: „Wohlan: hier werfe ich den Würfel und schreibe ein Buch, sei es für die Gegenwart oder für die Nachwelt — mir gilt es gleich! Möge es seinen Leser in hundert Jahren erwarten, — hat doch Gott selbst seinen Entzifferer durch sechs Jahrtausende erwartet“. Hohe Begeisterung für seine Arbeit und deren Ergebnisse hob ihn immer wieder zuversichtsvoll über die Wirnisse seines äußeren Lebens hinaus.

Die übrigen Bücher der „Zusammenklänge“ handeln über Geometrie, Musik, Harmonielehre und über deren und des menschlichen Geisteslebens mögliche Beziehungen zu den Planetenbewegungen. Hier mutet uns vieles heute fremd an; nur insofern aber mit Recht, als es nun schon klar geworden ist, daß die Beziehungen zwischen Geist und Materie so einfacher Art nicht sind als man zu Kepler's Zeit noch vermuten konnte. Mit Unrecht aber würde Kepler's Suchen nach solchen Beziehungen gering geschätzt; denn sie müssen bestehen, weil Geist und Materie in den Vorgängen des Lebens tatsächlich miteinander verbunden sind. Und wenn in heutigen Werken der Naturforschung solches Suchen kaum mehr merklich wird, so zeigt dies nur deren verhältnismäßig kleine Anlage und wohl auch das Herrschen des Stoffwahns (Materialismus) an, aus dessen engem und verödetem Gesichtskreis die Geisterwelt überhaupt entschwunden ist[2]). Wenn Kepler etwa sagt: „und immer bin ich eifrig darauf bedacht, durch natürliche Vernunft-

[1]) Deutsche Herausgabe von O. J. Bryk. Diederichs, Jena, 1918. Vollständige Übersetzung von M. Caspar; Oldenbourg, München, 1939.

[2]) Man vergleiche die vor einiger Zeit auch in weitere Kreise gedrungene „Abschaffung“ sogar des Licht und elektrische Kräfte tragenden Äthers: als wäre es Absicht, die Himmelsräume so öde erscheinen zu lassen, wie sie für diese Geister vielleicht wirklich sind.

schlüsse freimütig zu erforschen, worin das Wesen des Geistes liege, vorzüglich, ob denn nicht im Herzen der Welt eine Weltseele waltet, die tiefer an die Vorgänge in der Natur geknüpft ist . . .", so werden große Naturforscher — vielleicht mit jetzt wesentlich vertiefter und auch verschärfter Bedeutung seine Worte erfassend — ihm doch wohl immer zu folgen vermögen.

Kepler's äußeres Dasein gestaltete sich unter den Wirren des Dreißigjährigen Krieges auch in Linz und in Ulm schließlich immer ungünstiger; fünf Kinder waren ihm gestorben und die Gehaltsbezüge stockten gänzlich. Ferdinand II. wies ihm die fälligen 12000 Gulden[1]) bei Wallenstein an, der Kepler freundlich gesinnt war, da er ihm einmal eine bedeutungsvolle Sterndeutung geliefert hatte. So zog Kepler unter Wallensteins Schutz nach Sagan, wo es in der Kriegszeit verhältnismäßig ruhig geblieben war. Doch die Ausbezahlungen blieben aus. Um sie bei Wallensteins bevorstehender Absetzung persönlich zu erwirken, machte er sich auf die Reise zum Reichstag nach Regensburg auf. Jedoch von den Mühseligkeiten des langen, zu Pferd zurückgelegten Weges erschöpft dort angekommen, erkrankte er schwer und starb kurz darauf, am 15. November 1630. Seine selbstverfaßte Grabschrift lautet[2]):

Mensus eram coelos, nunc terrae metior umbras;
Mens coelestis erat, corporis umbra jacet.

Sein Grab im Kirchhof neben den Festungsmauern von Regensburg wurde im weiteren Verlauf des Dreißigjährigen Krieges bei der Sprengung der Mauern so vollständig verschüttet, daß es nicht mehr auffindbar war.

Evangelista Torricelli (1608—1647) und Blaise Pascal (1623—1662).

Dies sind zwei Nachfolger Galilei's in einem Teil seiner Arbeit, zugleich Vorgänger Guericke's bei der vollen Klarstellung des Luftdruckes als einer Folge der Schwere der Luft.

Beiden war ein nur kurzes Leben beschieden.

[1]) Diesen Betrag oder mehr erhielten Keplers Erben in der Tat mehrere Jahre nach seinem Tode ausbezahlt.

[2]) Nach der Übersetzung von O. J. Bryk in seiner schon genannten Herausgabe der „Zusammenklänge der Welten":
Himmelsweiten errechnet' ich einst, jetzt mißt mich die Grube;
Modert der Leib auch, so schaut selig sein Urlicht der Geist.

Torricelli war noch unmittelbarer Schüler Galilei's in dessen ältesten Tagen geworden und dann sein Nachfolger als Mathematiker des Großherzogs von Toscana. Er war offenbar geborener Experimentator. Allein schon seine Bemerkung zeigt dies, wie man kleine Glaskügelchen, die man selbst sich zurecht schmelzen könne, bestens als stark vergrößernde Lupen benutzen kann, was auch viele Jahre später noch dem — schwieriger herstellbaren — zusammengesetzten Mikroskop vorgezogen wurde



Bild 8. E. Torricelli.

und zu wichtigen Entdeckungen im Bereich der kleinsten Lebewesen verhalf. Durch messende Versuchsreihen wies er den heute noch nach ihm benannten Satz über den Ausfluß von Flüssigkeiten durch Öffnungen in dünner Wand aus Gefäßen nach, wobei Galilei's Fallgesetze auch für Flüssigkeiten in einfachster Weise gültig sich zeigten. Es ist das der erste je aufgefundene Satz der Bewegungslehre der Flüssigkeiten (Hydrodynamik), gegenüber der schon von Archimedes begründeten Hydrostatik. Torricelli's bekannteste Leistung ist die Herstellung des dann bald, wie heute, Barometer genannten Meßmittels für den Luftdruck. Schon Galilei hatte diesen Druck, die „Kraft des

Vakuums" durch die 32 Fuß (10 m) hohe Wassersäule im Rohre jenes tiefen Brunnens zu Florenz gemessen, und er hatte auch die viel geringere Höhe einer Kupfersäule berechnet, welche durch denselben Druck gehalten werden könnte. Es war von da nicht weit zu dem Gedanken, es mit einer Quecksilbersäule zu versuchen, die wie die Wassersäule von selber auf die den Druck messende Höhe sich einstellen kann. Torricelli teilte den Gedanken seinem Freunde Viviani mit, Galilei's jüngstem Schüler, der ihn dann zuerst im Jahre 1643, dem Todesjahr Galilei's, verwirklichte. So wurde handlich im kleinen Maßstab und durchs Glasrohr sichtbar hervorgebracht, was die Wassersäule im Brunnenrohr schon ahnen ließ: die festbegrenzte und von selbst sich einstellende Flüssigkeitssäule, die ebensoviel drückt als die Luft der Atmosphäre und die ganz von selbst den leeren Raum über sich zurückläßt, an dessen Herstellungsmöglichkeit von altersher so viele Zweifel geknüpft waren. Torricelli vervielfältigte dann den Versuch mit Abänderungen und unter fortgesetzten Beobachtungen über die Säulenhöhe, wodurch er auch Entdecker der Veränderlichkeit des Luftdruckes wurde. Die Veröffentlichung dieser Entdeckungen erfolgte nur in einem Briefe; doch war das damals kein ungewöhnlicher Weg, und es war damit tatsächlich auch genügend für Verbreitung der neuen Kenntnis gesorgt, insofern wenigstens, als sie mit dem Namen ihres Urhebers ununterbrochen verknüpft blieb.

Blaise Pascal, geboren zu Clermont in der Auvergne, zeigte schon in frühester Jugend ganz ungewöhnliche Fähigkeiten. Er begann 12jährig Euklid zu bewältigen, schrieb mit 18 Jahren Abhandlungen von dauerndem Wert über Kegelschnitte und lernte frühzeitig auch Galilei's Werke kennen. Als er von Torricelli's Luftdruck-Entdeckung genügende Kenntnis erhalten hatte, schien es ihm vor allem wichtig, durch eine größere Reihe von Versuchen nachzuweisen, daß es tatsächlich das Gewicht der Luft sei, welches den Druck ausübe, der die Quecksilbersäule hält. Er stellte dazu eine besonders ausgedachte Verbindung von zwei Torricelli'schen Röhren her, derart, daß die eine die tragende Luft der anderen wegnehmen konnte und sah dabei in der Tat die Säule der letzteren völlig herabsinken; wurde aber die Luft zugelassen, so stieg die Säule wieder. Außerdem führte er mannigfache Versuche aus, bei welchen Vorrichtungen mit Quecksilber in nachgiebigen Beuteln und in Heberröhren unter Wasser versenkt beobachtet werden konnten, wobei in der Tat sich zeigte, daß die Druckwirkungen des übergeschichteten Wassers ganz gleich den Wirkungen ausfallen, welche man an Torricelli'schen Röhren beobachtet, und also mit Recht dem Druck infolge Schwere der Luft zuschreibt. Alsdann wünschte er zu einer weiteren entscheidenden Beobachtung das Barometer auf einen hohen Berg

gebracht zu haben, woselbst die dort geringere, noch überstehende Luftmenge eine entsprechend kleinere Quecksilbersäule ergeben müßte. Da sein damaliger Wohnsitz keine Gelegenheit zu einem Versuche bot, ersuchte er seinen Schwager, der zu Clermont am Fuße des über 1000 m hohen Puy-de-Dôme in Mittelfrankreich wohnte, den Versuch auf diesem Berge auszuführen, was derselbe mit großer Gründlichkeit durchführte mit dem Ergebnis einer oben um mehrere Zoll erniedrigten Quecksilbersäule. Damit war im Jahr 1648 zum erstenmal unzweifelhaft festgestellt, daß



Bild 9. B. Pascal.[1]

im Luftmeere der Erde ein von unten nach oben abnehmender Druck herrscht, ganz wie es in einer schweren Flüssigkeitsmasse der Fall ist, welches letztere übrigens schon in Stevin's Schriften vollkommen klargemacht war. Man konnte nun überzeugt sein, daß es die schon von Galilei nachgewiesene Schwere der Luft ist, die Torricelli's Quecksilbersäule hält, und nicht die immer noch vielseitig zähe festgehaltene, anfänglich auch von Pascal gedachte Aristotelische „Scheu vor dem

[1] Nach Woltmann, „Die Germanen in Frankreich" (Jena 1907): Haar hell, Augenfarbe braun.

leeren Raum", für die nicht einzusehen war, warum sie oben und unten verschieden groß sein sollte. Pascal war erstaunt über den großen Unterschied der Säulenhöhen bei jenem Bergversuch; er wagte danach auch Versuche bei kleineren Höhenunterschieden, bei Türmen und Häusern, und fand alles zu Erwartende bestätigt.

Pascal ist auch Verfasser umfassender Schriften über das Gleichgewicht von Flüssigkeiten, und es rührt von ihm auch die hydraulische Presse her; doch erscheint er hierin nur als Neubearbeiter dessen, was in der Hauptsache schon Stevin gefunden hatte. Auch die religiösen Betrachtungen, welche Pascal's letzte 10 Lebensjahre ausschließlich erfüllten[1]), führten ihn nicht über schon vorhandene Gedanken seiner Zeit hinaus. Besonders seine Versicherung, daß Gott aus der Natur nicht zu erkennen sei[2]), zeigt, wie wenig seine Ahnungen über das damalige Wissen von der Natur hinausgingen. Ist denn nicht die dann bald von Newton gebrachte, fest gegründete Einsicht von der über das Weltganze wirkenden, Sonnensysteme wie jede einzelne Planetenwelt zusammenhaltenden Gravitation mit ihrem einfachen Gesetz und doch geheimnisvollen Wesen ein untrügliches Zeichen mächtigen, allumfassenden, übersinnlichen, göttlichen Wirkens?

Willebrord Snell (Snellius) (1591—1626) und René Des Cartes (Cartesius) (1596—1650).

Hier sind zwei ungleiche Zeitgenossen vereinigt, die jedoch in ihren Leistungen als Naturforscher nahe zusammentreffen.

Snell wurde in Leyden geboren und lebte dort als Professor der Mathematik und Mechanik, worin er Nachfolger seines Vaters war. Er führte die erste Meridiangradmessung nach dem Verfahren der Triangulation aus, das allein auf verbürgbare Genauigkeit Anspruch machen kann, das heute für jede Art Länder-Vermessung in Gebrauch ist und das auch zur Festlegung des Meters (des zehnmillionten Teils des Erdmeridian-Quadranten) als Längeneinheit von Wichtigkeit wurde. Außerdem fand er um 1620 das wichtige Lichtbrechungsgesetz. Winkelmessungen an gebrochenen Lichtstrahlen beim Eintritt in Wasser oder Glas wurden schon früher gemacht, auch von Kepler, aber das einfache Gesetz, das Einfalls- und Brechungswinkel mitein-

[1]) Die religiös-geistige Entwickelung von Pascal — endend im Klosterleben — findet sich eingehend dargestellt in Boutroux' „Pascal" (Paris 1900).
[2]) Wiederholt enthalten in seinen „Pensées" (Neue Herausgabe von E. Havet, Paris 1887, 2 Bde.).

ander verbindet, wurde nicht gefunden, bis Snell eine eigentümliche Überlegung anstellte, die auf die Sinus der Winkel führte[1]. Es ist nicht zu bezweifeln, daß Kepler, der aus Tycho's Zahlen die tief versteckten Planetengesetze fand, auch das Brechungsgesetz gefunden hätte, wenn er sein volles Suchen darauf verwandt hätte; doch genügte ihm zu umfassender Begründung der geometrischen Optik die von ihm benutzte Annäherung. Sobald aber nun das Gesetz genau gefunden war, mußte



Bild 10. W. Snell.

seine Kenntnis, bei seiner großen Einfachheit unvermeidlich bald sich verbreitet haben. So kann es nicht als wesentlich betrachtet werden, daß Snell durch seinen frühen Tod an der Drucklegung seiner das Gesetz enthaltenden Schrift verhindert war; denn Huygens und Andere hatten die Schrift gesehen und ersterer berichtet auch in einem seiner eigenen Werke („Dioptrica") über das von Snell gefundene Brechungsgesetz, auf das er auch schon in seiner berühmten „Abhandlung über das Licht" die wichtige Erklärung der Brechung gegründet hatte. Es ging hier offenbar so, wie mit Torricelli's Brief, nur mit dem Unterschied, daß Snell's Name in der Folge weniger genannt wurde als der Torricelli's.

---

[1] S. hierzu, besonders auch in bezug auf die öfter Des Cartes zugeschriebene Urheberschaft des Brechungsgesetzes Poggendorff's Geschichte der Physik, 1879, S. 310—312, sowie Mach, „Physikalische Optik", 1921, S. 47 ff.

René Des Cartes, geboren in La Haye in der Touraine aus altadeliger Familie, wurde in einer Jesuitenschule erzogen und dann von seinem Vater für den Kriegsdienst bestimmt. Er führte ein sehr bewegtes Leben, geteilt zwischen der Teilnahme an mancherlei Feldzügen des Dreißigjährigen Krieges in holländischen, bayerischen und österreichischen Diensten, zwischen weiten Reisen, Zerstreuungen und dann wie-



Bild 11. René Des Cartes.

der gänzlicher Zurückgezogenheit; er starb zu Stockholm im Alter von 54 Jahren.

Seine früh bemerklich gewordene mathematische Begabung ließ ihn zum Begründer der „Analytischen Geometrie" werden, dieser auch für alle Naturforschung höchst wichtig gewordenen Darstellungsart von Linien und Flächen durch Gleichungen, womit seither die Mathematik allen Untersuchungen räumlicher Vorgänge zu Hilfe kommen kann. Auch andere mathematische Leistungen liegen vor. In unmittelbaren

wertvollen Diensten der Naturforschung steht wohl nur seine gründliche Berechnung des Regenbogens. Er wandte Snell's Lichtbrechungsgesetz zum ersten Male auf die Strahlengänge in den Regentropfen an und fand so bei eingehender Berechnung von 1000 Strahlengängen die besonderen Winkel, die ohne das Gesetz gar nicht zu erfassen gewesen wären, nach welchem die einmal bzw. zweimal in den Tropfen reflektierten Strahlen parallel und somit gut aufs Auge wirkend austreten, womit sie den Haupt- und Nebenregenbogen bilden. Diese Entstehungsweise der Bögen durch innere Reflexionen in den Tropfen war allerdings schon von dem sonst wenig bekannten Erzbischof Antonius de Dominis[1]) vor 1611 auf Grund von Beobachtungen an Kugeln aus Glas und an wassergefüllten Kugelflaschen angegeben worden; aber die Übereinstimmung der von Des Cartes berechneten Winkel mit denen der wirklichen Bögen war doch ein wichtiges Beweisstück für die Richtigkeit dieser Erklärung und aller damit zusammenhängenden Kenntnis. Die Farben der Bögen vermochte allerdings auch Des Cartes noch nicht zutreffend zu erklären; darin hatte erst Newton Erfolg.

Des Cartes versuchte sich in umfassender Weise an mancherlei weiteren Problemen, so auch an der Begründung einer Himmelsmechanik. Wie wenig aber seine Denkweise für Naturforschung im Großen eingerichtet war, dies zeigt schon seine abfällige Beurteilung Galilei's mit Begründungen, wie er sie in Briefen gibt, so z. B. „Alles was Galilei von der Geschwindigkeit der Körper sagt, welche im leeren Raume fielen, ist ohne Grundlage aufgebaut; denn er hätte zuvor bestimmen müssen, was die Schwere sei, . . .". So zu denken heißt das Pferd der Naturforschung von hinten aufzäumen, was nach aller Erfahrung wenig fruchtbar sich erwiesen hat. In der Tat wird das Galilei'sche Pferd auch jetzt noch längere Zeit mit dem Kopf voran in erst noch zu entdeckende, zu beobachtende und zum Verständnis zu bringende Tatsachen hineinschreiten müssen, um der Frage näher zu kommen, „was die Schwere sei".

Wie sehr aber Des Cartes' Geist auf eine Erfassung des nicht materiellen Teiles der Welt gerichtet war, zeigt seine Erfüllung des Himmelsraumes mit Wirbeln eines unbekannten Stoffes, wodurch die Planeten um die Sonne getrieben würden, und auch sein sehr bekannt gewordener Schluß: „Cogito ergo sum" („Ich denke, also bin ich"), wonach es ihm bei Feststellung seines eigenen Vorhandenseins nicht auf das Vorhandensein seines Körpers ankam und überhaupt nicht auf sinnlich Wahrnehmbares, sondern vielmehr auf das Vorhandensein seines Geistes.

---

[1]) Umgekommen 1624 in den Kerkern der Inquisition. Seine Verdienste um den Regenbogen werden auch von Newton in seinem Werke „Opticks" angemerkt.

Otto Guericke

(1602—1686).

Dieser als Erfinder der Luftpumpe und Magdeburger Bürgermeister gern genannte ausgezeichnete Forscher begann fast ganz ungelehrt seine Zwiesprache mit der Natur in selbst ausgedachten Experimenten, die ihn nach mehreren Seiten hin tief ins bis dahin Unbekannte hinein und seiner Zeit voraus führten. Nur gar wenig die Luftpumpe selber ist es aber, die ihn unter die großen Forscher bringt, sondern die Art, wie er sie denkend benutzte, um Fragen an die Natur zu stellen, deren Beantwortung ohne dieses Hilfsmittel freilich nicht möglich war, wobei er kaum einmal abbrach, ehe nicht die Frage nach allen damaligen Zugänglichkeiten erledigt war. Daß es dabei sein besonderer Geschmack war, seine Versuche in etwas großem Maßstab anzustellen, wie mit den Magdeburger Halbkugeln, machte dieselben um so eindrucksfähiger auf seine Zeitgenossen, ergab aber auch, wie an den Funken seiner Elektrisiermaschine, Neues, das in kleinerem Maßstabe nicht gleich gut sich offenbaren konnte. Ein besonders freundlicher Zug an diesem fast durch sein ganzes Leben führend unter seinen Mitbürgern wirkenden Manne war seine Freude am Staunen der noch Uneingeweihten, wenn er sie die Wirkung der Natur sehen oder fühlen ließ an seinen Vorrichtungen, die auch ihm selbst zuvor erst die Wunder offenbart hatten, die voll zu würdigen freilich nicht alle in gleicher Weise befähigt sein konnten. So war und ist unser Guericke einzig in seiner Art.

Aus hoch angesehener Magdeburger Rats- und Patrizierfamilie stammend, wurde der junge Guericke zum Studium der Rechtskunde bestimmt, das er mit 15 Jahren an der Universität Leipzig begann, in Helmstedt und Jena fortsetzte und mit 21 Jahren in Leyden beschloß. An letzterer Universität hatte er auch Gelegenheit, Vorlesungen über Naturwissenschaft und angewandte Mathematik zu hören, die im damals schon tobenden Dreißigjährigen Krieg auch auf Kriegshilfsmittel sich bezog. Es könnte dort auch Snell sein Lehrer gewesen sein[1]). Hieran schloß sich eine Reise nach England und Frankreich, worauf er, 23jährig, in seine Vaterstadt zurückkehrte. Hier verheiratete er sich bald und begann dann um die städtischen Angelegenheiten in der schweren Kriegszeit sich verdient zu machen. In der Belagerungszeit von Magdeburg (1631) tat er als Ratsmann, „Schutz- oder Kriegsherr" der Stadt in der Sorge um

---

[1]) In der wohl einzigen eingehenden, quellenkundigen Lebensbeschreibung Guerickes, von F. W. Hoffmann (Magdeburg 1874), wird hierüber nicht berichtet. — Eine reiche Sammlung von Nachrichten und Urkunden über Guericke und seine Zeit hat die Stadt Magdeburg herausgegeben („Otto von Guericke", 1936).

die Befestigung und Verteidigung aufs äußerste seine Pflicht; doch ward durch Tilly's Übermacht der Widerstand gebrochen, und Magdeburg verfiel völliger Zerstörung und Niederbrennung, wobei auch Guericke alle seine Habe und fast auch das Leben verlor. Selbst der Kleider beraubt, blieb ihm von allem reichem Besitz aus den Zeiten seiner Vorfahren nichts übrig als ein Familien-Erinnerungsbuch, das damals eben nach auswärts ausgeliehen war. Er hatte aber das Glück, eben durch Preisgabe seiner Habe seine Familie retten zu können, mit der er sich dann einige Zeit in Gefangenschaft befand, bis er durch Lösegeld, vermutlich von seiten der schwedischen, protestantischen Freunde Magdeburgs befreit wurde. Mittellos trat er nun in Dienste von Gustav Adolf, der Magdeburg zu befreien gesonnen war und dessen Generalquartiermeister er wurde, bis endlich Magdeburg nach Tilly's Vertreibung unter schwedischem Schutz allmählich wieder aufgebaut werden konnte, worauf er dahin zurückkehrte. Er erwarb sich wieder große Verdienste um die Stadt, als Techniker sowohl, bei Brückenbau und Befestigungswesen, als auch in den Verhandlungen in den immer noch weitergehenden Kriegswirren. Nebenbei trieb er Landwirtschaft und braute Bier; die gänzlich verarmte Stadt konnte ihm weder jetzt noch in allen folgenden Jahren für seine stets aufopfernden Dienste auch nur den Lebensunterhalt sichern.

Im Jahre 1646 wurde er zum Bürgermeister gewählt; von da ab bis 1660 war er fast unausgesetzt in Staatsangelegenheiten beschäftigt und viel auf Reisen bis Wien, Prag, Regensburg, zu Staatsoberhäuptern, Fürstlichkeiten und Landtagen, im Interesse der Wiedererlangung von Magdeburgs alten Rechten. Doch fand er in diesem Abschnitt seines Lebens zwischendurch immer wieder auch Zeit, seinen Wünschen nach tieferer Naturerkenntnis sich hinzugeben. Vor allem hatte ihn die damals viel besprochene Ungewißheit der Herstellungs-Möglichkeit oder -Unmöglichkeit eines leeren Raumes beschäftigt, wobei es scheint, daß Torricelli's schon einige Jahre alter Versuch allerdings unter Gelehrten, nicht aber sonst noch genügend bekannt geworden war, besonders in dem nach Schluß des Dreißigjährigen Krieges (1648) größtenteils verwüsteten und allen ruhigen Bürgerlebens beraubten Deutschland.

Guericke ging jedenfalls kraft eigener Begabung ans Werk, um, wenn es möglich ist, den leeren Raum beliebig herstellbar zu machen. Er versuchte dazu die gewöhnliche Brunnen- oder Feuerspritzenpumpe zu benutzen, und da dieselbe für Wasser eingerichtet war, setzte er eine solche Pumpe an ein sonst überall verschlossenes Faß voll Wasser, um zu sehen, ob beim Auspumpen des Wassers ein leerer Raum im Fasse zurückbleiben würde. Die zum Pumpen nötigen Kräfte zeigten sich so groß,

daß erst alle Befestigungen verstärkt werden mußten. Als dann endlich drei starke Männer an dem Stempel der Pumpe ziehend das Wasser tatsächlich herauszuschaffen vermochten, wurde in allen Teilen des Fasses ein Geräusch hörbar, wie wenn das Wasser heftig kochte, und dies dauerte solange, bis das ganze Faß anstelle des herausgezogenen Wassers mit Luft gefüllt war; offenbar war Holz für solche Versuche nicht genügend luftdicht. Als dann Versuche mit einem unter Wasser gesetzten auszupumpenden Faß einigermaßen ermutigend ausgefallen waren, ließ Guericke eine große Kupferkugel anfertigen, die an die Pumpe gesetzt werden konnte, und es wurde jetzt mit Umgehung des Wassers auch sogleich Luft gepumpt, was vorzüglich gelang. Während man schon meinen konnte, fast alle Luft herausgeschafft zu haben, „wurde die Metallkugel plötzlich mit lautem Knall und zu Aller Schrecken so zerdrückt, wie man ein Tuch zwischen den Fingern zusammenballt, oder als ob die Kugel von der äußersten Spitze eines Turmes mit heftigem Aufprall herabgeworfen worden wäre". Diese schon ganz neuartige, für die Größe des noch unbekannten Luftdruckes höchst lehrreiche Wirkung schrieb Guericke sogleich richtig der wohl nicht genau kugelförmig gewesenen Gestalt des Gefäßes zu. Sie blieb auch aus, als eine neue, vollkommen gestaltete Kugel angefertigt war. Hier gelang es, solange zu pumpen, bis keine Luft mehr aus dem Ventil der Pumpe entwich, was als Beweis für die vollständige Evakuierung der Kugel anzusehen war. „So wurde also zum zweiten Male ein leerer Raum erhalten." Nach Öffnen des an der Kupferkugel angebrachten Hahnes „drang die Luft mit solcher Kraft in die Kugel, als wollte dieselbe einen davorstehenden Menschen gleichsam an sich reißen". Nun schritt Guericke zur „Einrichtung einer besonderen, zur Herstellung des Vacuums dienenden Maschine", — der ersten Luftpumpe. Dieselbe machte später viele Umgestaltungen durch, enthielt aber schon zu Anfang alles Wesentliche einer guten Ventilluftpumpe. Guericke erkannte auch schon die unvermeidlichen Mängel dieser Pumpen: Undichtheiten am Kolben und schädlichen Raum, und er schaffte Einrichtungen, um dieselben möglichst zu verringern. Als auszupumpenden Raum benutzte er meist ein mittels Schliff abnehmbares Glasgefäß mit weitem Hals, geeignet zum Einbringen von Versuchsgegenständen. Die Vollständigkeit der Entleerung wird durch Einströmenlassen von Wasser geprüft, wobei nur kleine Luftblasen blieben, von denen festgestellt wird, daß sie zumeist aus dem Wasser kommen.

Es folgt nun eine große Reihe von Versuchen mit völlig neuen Beobachtungen, die Grundlage zu vielem Späterem wurden. Vor allem wurde das Streben jeder Luftmenge erkannt, über allen Raum sich zu verbreiten. Schon die Luftblasen, die unter Wasser an Gefäß-

wänden saßen, zeigten dies, indem sie sich bei Fortnahme des Luftdruckes dehnten. Eine schlaff mit Luft gefüllte, dichte Schweinsblase kam im Vakuum von selbst zum Platzen. So wurde es auch klar, daß beim Pumpen die Luft ganz von selber aus dem leerzumachenden Gefäß in die leere Pumpe tritt, sofern nicht etwa Gegendruck des Ventils sie hindert. Letzteres vermeidet Guericke durch eine besondere Zusatzeinrichtung zum Öffnen der Ventile; auch ersetzt er dieselben durch Hähne. Er überzeugt sich, daß der selbsttätige Druckausgleich auch durch eine lange Röhrenleitung stattfindet, wenn Pumpe und Gefäß in verschiedenen Stockwerken des Hauses aufgestellt wurden. Er vermerkt besonders die Heftigkeit, mit welcher unter Umständen der Druckausgleich erfolgt, so daß Steinchen und Haselnüsse von der Luft umhergeschleudert werden können, und schließt daraus, daß Winde und Stürme auch nur Druckunterschiede der Luft in der Atmosphäre zur Ursache haben dürften, wie er dann aus besonders niedrigem Luftdruck einmal einen verheerenden Sturm auch richtig voraussagen konnte. Auch die Nebelbildung beim Verdünnen feuchter Luft beobachtet er und setzt sie vermutungsweise mit der Wolkenbildung in der Atmosphäre schon in ursächlichen Vergleich. Sehr bemerkenswert war auch der harte Klang beim Zusammenstoßen von luftfreien Wassermassen, „der auf keine andere Weise als in einem derartig entleerten Gefäß von irgend Jemanden hervorgerufen werden kann". Guericke bemerkt dabei auch, daß nach einiger Zeit stets wieder Luftbläschen im Wasser an den Gefäßwänden sich zeigen, außer wenn schon vorher längere Zeit hindurch ausgepumpt worden war. Da man damals (und selbst viele Jahre später) die stoffliche Beschaffenheit luftförmiger Körper, deren Greifbarkeit eben erst die Luftpumpe erkennen lehrte, noch gar nicht näher ins Auge gefaßt hatte, als etwa der Geruchsinn Unterschiede anzeigte, so erschienen diese Luftbläschen, ebenso wie die ganze Atmosphäre der Erde als Ergebnis des Entweichens verdampfbarer Teile aus den festen Stoffen im allgemeinen. Guericke betont auch ganz richtig, daß man wegen Verdampfbarkeit aller Körper den leeren Raum stets nur in Annäherung werde erzeugen können, was aber nicht hindere, Schlüsse in bezug auf ihn zu ziehen.

Daß die Atmosphäre den so augenscheinlich gewordenen großen Druck ausübt, schreibt Guericke ganz ihrer Schwere zu; die „Scheu vor der Leere" — den „horror vacui" — schafft er ausdrücklich vollkommen ab. Vielmehr bestimmt er das von Galilei auf Umwegen geschätzte spezifische Gewicht der Luft unmittelbar durch Vergleichswägungen leergepumpter und voller Gefäße, wobei als besonders überzeugend für das nicht geringe Gewicht ganz mäßiger Luftmengen das auf der Waage so augenscheinliche Schwererwerden beim Einströmen der Luft auftrat.

Auch erkennt Guericke, daß der Luft ein einheitliches spezifisches Gewicht nicht zugeschrieben werden kann, sondern daß dasselbe je nach Druck und Temperatur sich ändert. Die Erdatmosphäre wird nach diesen Erkenntnissen durch ihre eigene Schwere zusammengehalten und am Erdboden zu der ihr dort eigenen Dichte zusammengepreßt. Den ungeheuren Raum zwischen den Weltkörpern sieht nun Guericke als „von jeder Materie leer" an.

Durch Guericke wurde, wie man sieht, zum erstenmal die Luft zum greifbaren Gegenstand, den man gleich festen und flüssigen Körpern nach Belieben in einen Raum füllen und aus ihm wieder entfernen kann. So wurde es auch möglich, durch unmittelbare Beobachtung festzustellen, wie der lufterfüllte Raum vom luftleeren sich unterscheidet. Dies benutzt Guericke auch besonders in zwei grundlegend wichtig gewordenen Beziehungen; er frägt nach der Ausbreitungsmöglichkeit von Licht und Schall im leeren Raum. Er hebt hervor, daß der leere Raum, entgegen vorhandener Behauptung, das Licht am Durchgang nicht verhindere, weil Dinge, welche man darin anbringe, gesehen werden. Dagegen fielen seine Versuche mit dem Schall anders aus. Ein Uhrwerk, das fortdauernd eine Glocke anschlug, wurde an einem Faden im auspumpbaren Glasgefäß aufgehängt; der Ton der Glocke wurde nach genügender Entfernung der Luft unhörbar. Geräusche drangen aber in mehrfacher Beobachtung nach außen, was Guericke ein wenig irre machte; er scheint hier mangels weiterer Fortsetzung dieser Versuche durch die Fortleitung des Schalles längs festen Körpern getäuscht worden zu sein.

Das Brennen einer Wachskerze, das Leben von Tieren versagte schon im luftverdünnten Raum, und Guericke verbindet dies sogleich mit der Annahme, daß das Feuer etwas aus der Luft aufnehme, das es als Nahrung brauche, und daß es dementsprechend Luft verzehre, was übrigens schon Leonardo angibt. Er verfolgt dies in besonderen Versuchen mit Benutzung einer über Wasser abgeschlossenen Luftmenge und findet, daß bis zum Verlöschen einer darin brennenden Kerze mindestens ein Zehntel der Luft verbraucht wird.

Eine große Zahl von Versuchen stellt Guericke mit teilweise sehr kostbarer Zurüstung nicht so sehr allein der Forschung halber an, als vielmehr um mit dem schon Gefundenen auf seine Zeitgenossen zu wirken. Hierher gehören Vorrichtungen, die mittels des Luftdruckes große Kräfte ausübten, so ein sehr großer Kupferzylinder mit Kolben, der bei plötzlicher Verbindung mit einem vorher ausgepumpten Raum 20 oder 30, ja selbst 50 Männer, die an Stricken den Kolben herausziehen wollten, hinzustrecken imstande war. Die dabei wirksamen Kräfte gibt Guericke aus dem von ihm nach Maßgabe der 20 Magdeburger Ellen (10 m) hohen Wassersäule berechnetem Luftdruck richtig in Pfunden an;



Otto von Guericke
1649.

er kontrolliert sie aber auch durch Gewichte auf einer Waagschale und gibt an, wie man danach leicht auch das Gesamtgewicht der Luft rings um die Erde berechnen könne, wenn man die gesamte Erdoberfläche richtig einsetzt.

Am bekanntesten wurden unter den Vorrichtungen der ebengedachten Art die „Magdeburger Halbkugeln", bei deren kleinerer Ausführung, mit $^3/_4$ Magdeburger Ellen Durchmesser, beiderseits 8 Pferde nur mit Mühe sie trennen konnten, wobei ein lauter Knall erfolgte, während sie bei einfachem Öffnen eines Hahnes von selber auseinanderfielen. Bei der größeren Ausführung, mit 1 Elle Durchmesser, berechnete Guericke entsprechend dem Querschnitt mehr Pferde als notwendig.

Mehrere seiner Versuche zeigte Guericke beim Reichstag zu Regensburg 1654 erst in kleinen Kreisen, dann auf Verlangen auch vor dem Kaiser und den Reichsfürsten. Von da aus verbreitete sich die Kunde seiner Entdeckungen, besonders die Kenntnis und Überzeugung von der Größe des Luftdruckes schnell weiter — sofern nicht vieles schon früher von Magdeburg aus bekannt geworden war — um so mehr, als Guericke die mitgebrachten Vorrichtungen einigen einflußreichen Persönlichkeiten, die sie wünschten, überließ. Ein Teil davon kam an die Universität Würzburg, und es erfolgten dann von dort aus und später von Boyle in England gedruckte Veröffentlichungen von Guericke's ursprünglichen, sowie von abgeänderten Versuchen, wobei aber seine Urheberschaft zum Teil verwischt erscheint[1]). Dies bewog Guericke, selbst sein Werk „De vacuo spatio" („Neue Magdeburgische Versuche über den leeren Raum") zu schreiben; es war 1663 beendet und 1672 endlich fertig gedruckt.

Guericke hat auch andere Forschungen angestellt. Er entdeckte die elektrische Abstoßung, während bis dahin nur Anziehungskräfte bekannt waren. Er bediente sich dabei statt kleiner geriebener Harzstücke einer großen, gegossenen Schwefelkugel, die um eine Achse drehbar war, womit auch ein Anfang zum Bau der späteren Reib-Elektrisiermaschine gegeben war. Schon mit Guericke's ursprünglicher Maschine, deren eine schon früh Leibniz erhielt, kamen zum ersten Mal elektrische Funken zur Beobachtung (1672), worüber Leibniz in einem Briefe an Guericke berichtete.

Über allen Einzelerrungenschaften steht aber der Eindruck, den Guericke's Vorgehen — die Natur selbst zu befragen und sie in Versuchen sprechen zu lassen — auf die Denkweise seiner und der fol-

[1]) Ein heute noch auffallendes Zeichen hiervon findet sich in Huygens' berühmter Schrift „Über das Licht" (entstanden 1678), wo Boyle als Erfinder der Luftpumpe bezeichnet wird, der allerdings selbst Guericke als Urheber erwähnt.

genden Zeit ausüben mußte, da sein Vorgehen so reiche und ungeahnte Früchte neuer Erkenntnis gebracht hatte. Guericke ist einer von den Wenigen, die jeweils im Lauf der Menschheitsgeschichte in großen Zwischenräumen erstanden sind als Erwecker aus müßigen, naturfernen Träumereien, wie sie — gleich dem damaligen „horror vacui" — aus den Köpfen Unfähiger in immer wieder neuen Formen so leicht zu verdummender Herrschaft kommen.

Guericke's älteste Tage dürften vom bemerkenswerten Undank seiner Mitbürger getrübt gewesen sein; seine ohnehin geringen Einkünfte und Vorrechte als Bürgermeister wurden ihm vielfach vorenthalten, während man dennoch ihm bis übers 74. Lebensjahr hinaus nicht Ruhe gönnen wollte. Es war offenbar niemand von gleichem Geschick und gleicher Hingabe vorhanden zur Führung der fortdauernd schwierigen Verhandlungen, die der Dreißigjährige Krieg mit sich gebracht hatte. Jedenfalls hatte Guericke sein Leben lang das äußerste für seine Vaterstadt getan, und zwar offenbar aus reinem Pflichtgefühl gegen das Gemeinwesen, dem seine Väter angehört hatten. Daß es ihm nicht gelang, Magdeburg die Rechte einer reichsfreien Stadt nach dem Kriege wieder zu verschaffen, lag nicht an ihm, wie die Urkunden zeigen[1]). Er hatte sich sicherlich aufs beste bei den Habsburger Kaisern (Ferdinand III., Leopold I., der ihn 1666 in den erblichen Adelsstand erhob) eingeführt, die aber dann doch die letzte Entscheidung zu Ungunsten Magdeburgs fällten; ebenso stand er auch beim Großen Kurfürsten Friedrich Wilhelm in hohem Ansehen. Er starb 84 Jahre alt bei seinem Sohne in Hamburg, der dort niedersächsischer „kurfürstlicher Resident" war, treu gepflegt im Kreise seiner Familie. Sein Begräbnisplatz, den er in Magdeburg sich gewünscht und wohl auch dort erhalten hatte, ist nach den Zerstörungen der Kriegszeit von 1806—13 nicht mehr auffindbar gewesen; doch zeugt ein prächtiges Guericke-Denkmal von der Ehrung seines Andenkens in seiner Vaterstadt.

Edme Mariotte (1620—1684) und Robert Boyle (1627—1691).

Die Kenntnis von Guericke's Luftpumpen-Versuchen und von den Eigenschaften der Luft, die dabei sich zeigten, verbreitete sich schnell über Europa, und man fing an, die Versuche an mehreren Orten zu wiederholen. Einer der eifrigsten Experimentatoren war hierbei und auch

[1]) Siehe das schon genannte Werk von F. W. Hoffmann, der auch Verfasser einer „Geschichte der Stadt Magdeburg" ist.

sonst in mehreren Beziehungen Robert Boyle. Er war geboren in der englischen Grafschaft Cork aus dort altansässiger, sehr wohlhabender Familie, hatte große Reisen, besonders durch Italien und Frankreich gemacht und lebte dann als Privatmann in seiner Heimat. In seinen älteren Tagen wurde er Mitbegründer der besonders für die Naturfor-



Bild 13. Robert Boyle.

schung in England bedeutungsvoll gewordenen „Royal Society" (Königlichen Gesellschaft). Er war von unermüdlichem Drange nach Naturbeobachtung erfüllt. Die Zahl der Versuche mannigfacher Art, die er in seinen umfangreichen Werken beschreibt, ist geradezu unermeßlich; doch war er gleich dem Wanderer, der fromm an allem zu Sehenden sich er-

freut, auch keine Mühe scheut, um möglichst viel zu sehen, dem es aber nicht darauf ankommt, verborgene Tiefen erschöpfend zu ergründen[1]).

Er experimentierte auch mit Quecksilber in Glasröhren, wie Torricelli und Pascal, und brachte hierbei in ein einerseits geschlossenes U-förmiges Rohr eine Luftmenge über Quecksilber zum Abschluß, wobei im offenen Schenkel der Reihe nach verschieden hohe Quecksilbersäulen zwischen innerer und äußerer Luft überstanden, und notierte die jedesmal zusammengehörigen Luftvolume und Säulenhöhen. Es zeigte sich, daß, mit richtiger Einrechnung des schon bekannten Luftdrucks, die Volume der eingeschlossenen Luft verkehrt proportional dem Gesamtdruck waren, unter welchem sie standen. Damit war das wichtige Gesetz gefunden, welches Gasvolume und Drucke bei gleichbleibender Temperatur miteinander verbindet, und dies ist das hervorragendste bleibende Ergebnis von Boyle's Tätigkeit. Es wurde später von Mariotte gesichert. Boyle selbst legte keinen großen Wert darauf[2]). In der Tat war nach Guericke's Feststellung, daß die Luft ohne äußeren Druck über allen Raum sich dehnt und daß ihre Raumeinnahme um so kleiner wird, je größer der sie zusammenpressende Druck ist, jenes Gesetz als einfachste Möglichkeit bereits so gut wie gegeben. Es durfte kaum mehr überraschen, daß es mit der damals erreichten Genauigkeit, sowie in den erreichbaren Druckgrenzen quantitativ richtig gilt.

Unter Boyle's zahlreichen Versuchen finden sich auch viele, die wichtige chemische Erfahrungen enthalten, das charakteristische Verhalten verschiedener Stoffe gegeneinander betreffend, was später auch Grundlage der chemischen Analyse wurde. So der Nachweis von Salzsäure durch Fällung mit Silberlösung, von Eisen durch Galläpfeltinktur, von Säuren mittels Pflanzenfarbstoffen auf Papier. Boyle war überhaupt der erste, der „Chemie" um des Wissens willen — nicht um Gold, den Stein der Weisen oder ein Lebenselixier herzustellen — eingehend betrieb.

Edme Mariotte, geboren in Bourgogne, wurde Geistlicher, war Prior eines Klosters bei Dijon, lebte dann aber, 1666 infolge seiner naturwissenschaftlichen Betätigung zum Mitglied der neugegründeten Pariser Akademie gewählt, bis zu seinem Tode in Paris. Er zeigte sich in mancherlei Richtungen als eingehender Forscher. Besonders das Verhalten der Luft unter verschiedenen Drucken beschäftigte ihn im Anschluß an Guericke's, Torricelli's und Pascal's Feststellungen.

[1]) Sein Bildnis in der National Portrait Gallery in London zeigt braune Augenfarbe.

[2]) In manchen Ausgaben seiner Werke ist es auch nicht zu finden, so in „Nova experimanta de vi aeris elastica", nach dem englischen Original von 1659 übersetzt, Hagecommitum 1661.

So kam auch er, wie Boyle, dazu, den einfachen quantitativen Zusammenhang zwischen Druck und Volum zu finden, das „Boyle'sche" oder „Mariotte'sche Gesetz". Seine Veröffentlichung erschien 1676, 16 Jahre später als die der beinahe gleichen Versuche von Boyle; doch war es Mariotte, der als erster gleichzeitig in seiner Abhandlung „Sur la nature de l'air" eine grundlegende, wichtige Anwendung des Gesetzes macht. Er berechnet den Verlauf der Druckabnahme mit zunehmender Höhe in der Erdatmosphäre richtig, indem er Guericke's Erkenntnis benutzt, daß nicht bis zu beliebiger Höhe mit unvermindertem spezifischem Gewicht der Luft gerechnet werden darf. Er rechnet demnach in kleinen Höhenstufen. Da mit dem nach oben hin verminderten Druck das spezifische Gewicht entsprechend der Volumänderung gleicher Luftmassen sich ändert, war durch das Gesetz die Rechnung möglich geworden. Mariotte teilt — da Differentialrechnung noch nicht erfunden war — die gesamte Atmosphäre in 4032 Schichten gleichen Druckes und berechnet die Höhe jeder einzelnen Schicht, woraus durch Summierung die zu jedem beliebigen Druck gehörige Höhe erhältlich wurde. Es ist dies auch die heutige Grundlage aller Kenntnis über Druck- und Dichte-Verteilung in der Atmosphäre und im besonderen der barometrischen Höhenmessung.

Eine andere bleibende Errungenschaft von Mariotte ist die Feststellung des tatsächlichen Wasserkreislaufs auf der Erde. Man dachte diesen Kreislauf in der Hauptsache unterirdisch vor sich gehend; die Quellen, die man aus dem Inneren der Erde entspringen sah, dachte man durch unterirdisch entwickelte Wasserdämpfe gespeist, die aus versickertem Meereswasser entstünden, vielleicht aber auch aus unerschöpflichen unterirdischen Wasservorräten stammten. Die Menge des Regenwassers wurde unterschätzt, soweit man überhaupt ernst quantitativ zu denken versucht hatte. Auch Des Cartes war solcher Ansicht. Mariotte, als Naturforscher mit Pythagoras' Einsicht vom Wesentlichen der Zahl, stützte sich auf ausgedehnte Regenmessungen, die nach seiner Angabe auf seinen Wunsch angestellt wurden, und verglich deren durchschnittliches Jahresergebnis, berechnet für die Fläche des gesamten Quellengebietes der Seine, mit der jährlichen Wassermenge dieses Flusses, die er aus der Geschwindigkeit treibender Schiffe und dem Querschnitt des Seine-Bettes bei Paris ermittelte. Es zeigte sich, daß die Regenmenge mehr als sechsmal ausreichte, um den Fluß zu speisen. Hieraus und aus zahlreichen anderen von ihm angestellten Beobachtungen über Versickern und Wiedererscheinen von Regenwasser im Gelände verschiedener Art, sowie über die Schwankungen des Wasserreichtums von Quellen und Flüssen zu verschiedenen Jahreszeiten, zog er den gut gesicherten Schluß, daß die Quellen von Regen und Schnee gespeist

werden, die auf Berge fallen; daß also ein Kreislauf des Wassers auf der Erde besteht, der in der Hauptsache oberirdisch, durch die ganze Atmosphäre gehend, abläuft. Dazu entwickelt Mariotte auch erste zutreffende Vorstellungen von der Entstehungsweise der Regentropfen in den Wolken, aus den von fester Erde und von den Meeren aufsteigenden Dämpfen.

Olaus Römer

(1644—1710).

Sein großes Verdienst ist die erste Feststellung einer endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes zugleich mit der Messung der Größe dieser Geschwindigkeit.

Er war geboren zu Aarhuus in Dänemark und studierte in seiner Heimat Naturwissenschaften und Mathematik. Von seinem 28. bis zu seinem 37. Lebensjahr war er an der Pariser Sternwarte tätig, wo ihn besonders die Bewegungen der von Galilei entdeckten Jupiter-Monde beschäftigten. Er bemerkte an einem der Monde, dem innersten, daß seine Umlaufszeit, scharf gemessen durch seine Eintritte in den Jupiter-Schatten, von veränderlicher Größe zu sein schien, und zwar je nach der Stellung der Erde in ihrer Bahn. Wenn die Erde von Jupiter sich entfernt, scheint der Mond sich zu verspäten; im anderen halben Jahre, während die Erde dem Jupiter sich wieder nähert, wird die Verspätung wieder eingeholt. Dieser Zusammenhang veranlaßte Römer nach Abschluß mehrjähriger Beobachtungen zur Durchführung eines Gedankens, der schon Galilei nicht fremd war, nämlich daß das Licht zu seiner Ausbreitung Zeit brauchen könnte. Er nahm also an, daß in seinen Beobachtungen eine Verspätung des Lichtes merklich werde, wenn es, vom Jupiter kommend, der immerhin schnell bewegten Erde nacheilen muß, und er berechnete hiernach die Geschwindigkeit des Lichtes als Quotienten aus dem Erdbahnhalbmesser und der Gesamtverspätung innerhalb eines halben Jahres. Das Ergebnis, in heutigem Maße und nach verfeinerten Beobachtungen 300000 km/Sek., wurde von ihm im Jahre 1676 der Pariser Akademie vorgelegt. Er stieß zunächst auf viel Widerspruch, der indessen zu allermeist nur die von Des Cartes ausgesprochene Meinung einer zeitlosen Lichtausbreitung zur Grundlage hatte. Huygens und Newton stimmten jedoch Römer sogleich bei; sie sahen hier Galilei's Gedanken, Lichtverspätungen in großen Abständen zu einer Lichtgeschwindigkeitsmessung zu benutzen, verwirklicht. Von allem Zweifel befreit wurde die Richtigkeit von Römer's Schluß erst nach seinem Tode durch Bradley's Entdeckung der Aberration, und erst 170 Jahre später wurde die Lichtgeschwindigkeit durch Fizeau zum erstenmal in irdischen Abständen gemessen.

Römer verließ Frankreich mit vielen anderen Vortrefflichen als vertriebener Lutheraner im Jahre 1681 und kehrte nach Dänemark zurück, wo er dann Direktor der Sternwarte und zuletzt Bürgermeister von Kopenhagen war. Er war es hauptsächlich, der das Fernrohr als astronomisches Meßmerkzeug allgemein einführte; so rührt von ihm der jetzt an jeder Sternwarte zu findende „Meridiankreis" her. Seine mit solchen Hilfsmitteln gesammelten sehr umfangreichen Kopenhagener Beobachtungen gingen nicht lange nach seinem Tode durch den großen Brand, der die Stadt verheerte, verloren.

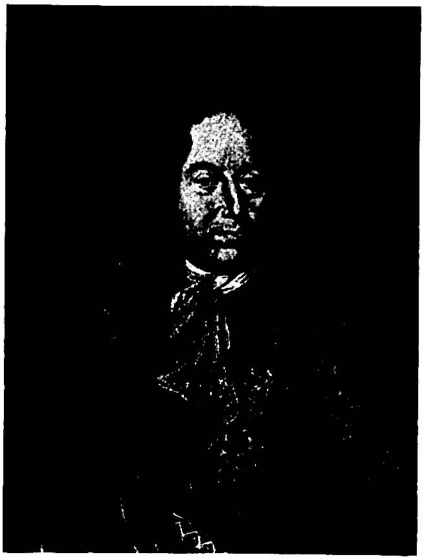


Bild 14. Olaus Römer.

Christian Huygens
(1629—1695).

Dies war Galilei's großer, ebenbürtiger Nachfolger, fast in jeder Beziehung, und nächst Kepler der wirksamste Vorbereiter von Newton's Forschungen, die dann für lange Zeit hinaus eine abgerundete Vollendung der ersten menschlichen Einsicht in einen Teil des großen Naturgeschehens ergaben. Er war, wie Galilei, ganzer Naturforscher, der nicht nur in gewissen Richtungen eingriff und dort ausschlaggebende Fortschritte herbeibrachte, sondern der alles, was ihm begegnete, prüfend erfaßte, um daran womöglich Neues zu ergründen. Da solche Möglichkeiten für jene Zeit schon sich mehrten, wird es nicht angehen, sein Wir-

ken in aller Vielseitigkeit hier darzustellen; doch sei sogleich hervorgehoben, was in den großen Zügen der Kenntnis-Entwickelung die Hauptsache war:

Galilei hat allereinfachste Bewegungsvorgänge verstehen gelehrt; Huygens lieferte von da aus alles Wesentliche auf den Weg zum Verständnis auch der verwickeltsten Vorgänge, indem er einzelne Beispielsfälle nicht einfacher Art nahezu erschöpfend untersuchte, besonders das zusammengesetzte Pendel, die erzwungene Kreisbewegung mit der Fliehkraft und den Stoßvorgang. Daneben ist er auch der Begründer der Einsicht in die Wellennatur des Lichtes, der Erfinder und volle Ausgestalter der Pendeluhren und der eingehende Erschließer wichtig gewordener Teile der Geometrie, besonders die Eigenschaften gekrümmter Linien, wie der Zykloide[1]) (Radlinie) betreffend.

Sein allgemeiner Charakter offenbart sich in seinen Werken ebenso, wie er auch aus sonst von ihm Bekanntem hervorgeht: „Er teilt mit Galilei die erhabene und unübertreffliche, vollkommene Aufrichtigkeit. Er ist ganz offen in Darlegung der Wege, welche ihn zu seinen Entdeckungen geleitet haben und führt dadurch den Leser in das volle Verständnis seiner Leistungen ein. Er hatte auch keine Ursache, diese Wege zu verbergen. Wird man auch nach einem Jahrtausend noch sehen, daß er ein Mensch war, so wird man doch zugleich bemerken, was für ein Mensch er war[2])." Die Tätigkeit des Naturforschers vergleicht Huygens mit der des Entzifferers einer Geheimschrift[3]). Fast alles, woran er arbeitete, hat er lange zurückbehalten; manches ist überhaupt erst nach seinem Tode aus dem Nachlaß erschienen.

Geboren wurde Huygens zu Haag in Holland aus sehr angesehener, einflußreicher und begüterter Familie, was ihm zeitlebens die für seine Arbeiten notwendige Unabhängigkeit sicherte und ihm auch viele Reisen ermöglichte. Er studierte zusammen mit seinem ein Jahr älteren Bruder Konstantin in seiner Heimat Jurisprudenz und zugleich Mathematik. Seine ersten wissenschaftlichen Leistungen waren mathematischer Natur im Anschluß an seine Studien der Werke von Archimedes und Des Cartes; er tritt dann früh als einer der Begründer der auch für die Naturforschung wichtigen Wahrscheinlichkeits-Rechnung auf. Seine Erfindung der Pendeluhr, über die er 1657 die erste Mitteilung

---

1) Es ist das die Linie, welche ein Punkt am Umfang eines rollenden Rades auf mit der Unterlage festverbundener Zeichenebene beschreibt.

2) E. Mach, „Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch kritisch dargestellt". Leipzig 1933. S. 149.

3) S. das von P. Zeeman entworfene Lebensbild in der Gedenkschrift zu Huygens' 300stem Geburtstag (Verlag Paris in Amsterdam, 1929). Dort auch Bildnisse aus Huygens' jüngeren Jahren.

machte, hat ihn bald weithin bekannt gemacht. Es ist erstaunlich, wie eingehend und erschöpfend er dies heute so allgemein verbreitete Zeitmeßmittel durchgearbeitet hat, im wesentlichen bis zu seiner noch jetzt gebräuchlichen Form, woran er dann in dem 1673 erschienenen ausführlichen Werk „Horologium oscillatorium" („Die Pendeluhr") noch eine Fülle viel weiter gehender Forschungsergebnisse knüpft.

Huygens' Pendeluhr hat die Zeitmessung in Wissenschaft und täglichem Leben fast plötzlich auf ganz neuen, vorher vergeblich erstrebten, in vollem Maße kaum geahnten Stand der Feinheit gehoben[1]). Zwar hatte man Uhren mit Räderwerk und Zeigern, getrieben durch Gewichte, schon lange vorher. Aber der Gang war unregelmäßig und unzuverlässig; denn er war nur durch Reibungswiderstände gegeben, die stets veränderlich sind. Dies wurde auch nicht wesentlich besser, als man einen um eine Achse drehbaren etwas massigen Körper durch das schnellstlaufende Zahnrad hin und her werfen ließ, um der Ganggeschwindigkeit eine Grenze zu geben. Diese Art Uhren waren schon zu Galilei's Zeiten vorhanden, und doch zog Galilei zu seinen Fallversuchen auf der schiefen Ebene die Zeitmessung durch abfließendes Wasser vor, wie bei den Wasseruhren des Altertums, weil das zuverlässiger war[2]). Später, als Galilei die Pendelbewegung eingehend untersucht hatte, empfahl er selber die Zählung von Pendelschwingungen zur Zeitmessung, wobei für verschieden lange Pendel leicht umgerechnet werden konnte. Ärzte begannen auf Galilei's Vorschlag ein Fadenpendel zu benutzen, dessen Länge sie bis zur Übereinstimmung mit dem Pulsschlag des Kranken änderten; es wurde „Pulsilogia" („Pulsmesser") genannt. Was zur Messung beliebig langer Zeiten fehlte, waren Pendel, die nicht vorzeitig zur Ruhe kämen, und ein selbsttätiges Zählwerk dazu. Schon Galilei strebte beides an, und es war nachträglich festzustellen, daß er, schon erblindet, wenige Monate vor seinem Tode Angaben zur Ausführung hinterlassen hatte, samt einer Zeichnung, die er seinem Sohn Vincenzio diktierte. Die Zeichnung ist noch erhalten; sie blieb von Vincenzio wohlbehütet, aber doch unbenutzt. Huygens hat die Unterhaltung der Pendelschwingungen und die Zählung derselben zum erstenmal verwirklicht,

[1]) Hervorhebung dieses großen Fortschrittes des Jahres 1673 fehlt meist in historischen Erinnerungen über Uhren. Verläßliche Uhren hat heute Jedermann; wer kennt aber auch nur den Namen Huygens', des Urhebers?! Die mit Unwissenheit verbundene Undankbarkeit der Menschen ist ungeheuer groß.

[2]) Die Astronomie hatte für ihre Zeitbestimmungen von jeher schon den Lauf geeignet ausgewählter Gestirne zur Verfügung. Es wären sonst Tycho's Beobachtungen wertlos gewesen; nur als Nebenhilfsmittel wandte er die damaligen Uhren an. In entsprechender Verfeinerung müssen übrigens auch die heutigen Uhren ab und zu nach dem Lauf der Gestirne richtiggestellt werden.

beide zusammen in einfachster Weise, indem er das Pendel, in der geschickten, jetzt allbekannten Anordnung lose gekoppelt mit dem Räderwerk, an Stelle des erwähnten schon gebräuchlich gewordenen Wackelkörpers der Räderuhren setzte. Der gewaltige und ausschlaggebende Unterschied zwischen jenem hin- und hergeworfenen Wackelkörper und dem Pendel ist der, daß ersterer keine feste Eigenschwingungsdauer besitzt, weil die ihn treibende Kraft doch nur vom Räderwerk kommt und stark der veränderlichen Reibung unterliegt, während das Pendel seine eigene treibende Kraft im unveränderlichen Gewicht des Pendelkörpers und damit die feste Schwingungsdauer besitzt, welche von der geringen, nur die Lufttreibung des Pendels aufwiegenden Kraft des Räderwerks um so weniger beeinflußt wird, je schwerer der Pendelkörper gewählt wird. Es war ein neuer Gedanke in die alten Uhren gebracht, der sie, vom heraushängenden Pendel abgesehen, innerlich nicht einmal viel veränderte, in der Wirkung aber zu etwas völlig Neuem machte: zu verläßlichen Zeitmessern. Huygens sagt selbst, in seinem „Horologium oscillatorium“: „Mag also in dem Werke selbst irgendein Fehler sein, mögen die Achsen infolge geänderter Temperatur sich schwerer drehen —, solange der Gang des Uhrwerkes nicht ganz aufhört, wird keine Unregelmäßigkeit oder Verzögerung im Gange zu fürchten sein: die Uhr wird die Zeit stets entweder richtig messen, oder sie wird sie überhaupt nicht messen.“ Es ist bei der geringen Änderung im Werk nicht verwunderlich, daß alsbald in vorhandene ältere Uhren Pendel an Stelle der Wackelkörper eingesetzt wurden. Da dabei die eingravierten Jahreszahlen der Verfertigung des ursprünglichen Werkes ungeändert bleiben konnten, hat dies später zur Meinung Anlaß gegeben, es wären diese Uhren schon vor Huygens als Pendeluhren verfertigt worden, was aber nach den Zeugnissen der Literatur der damaligen Zeit als irrtümlich anzusehen ist[1].

Für die Seefahrt hatten und haben gute Uhren die große Wichtigkeit, zuverlässige geographische Längenbestimmungen, also richtige Orientierung auf offener See zu ermöglichen. Hier war aber das gewöhnliche, mit der Schwerkraft schwingende Pendel wegen der Schiffsschwankungen trotz Huygens' besonderer Bemühungen nicht voll befriedigend; er ging daher dazu über, elastische Pendel für die Uhren zu verwenden, wie sie auch heute noch in den „Unruhen“ der Taschenuhren und Schiffschronometer vorhanden sind. Auch hier war nur die Ein-

[1]) Vgl. hierzu Gerland, Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. IV, S. 585, 1878; auch Poggendorff, „Geschichte der Physik“ 1879, S. 607 ff. Die Angabe an letzterer Stelle (S. 615), daß Huygens den Vorgang des Zusammenschwingens (der Resonanz) von Uhrenpendeln nicht selbst ganz aufgeklärt habe, beruht auf einem Versehen, wie S. 49 in Huygens' „Opera varia“ (Vol. I, Lugduni Batavorum 1724) zeigt.

fügung dieses für den verläßlichen Gang wesentlichen Bestandteiles das Neue. Taschenuhren mit Laufwerk, durch Federkraft getrieben, gab es schon vorher; sie waren nach ihrer äußeren Form und ihrem vorzüglichsten ersten Herstellungsort als „Nürnberger Eier" bekannt. Mit der Einführung der Federunruhe statt des Schwerependels kam übrigens Hooke in England, wo das Bedürfnis nach guten Schiffschronometern am dringendsten war, Huygens zuvor, nicht jedoch bevor dieser die gewöhnliche Schwerependeluhr, das Vorbild auch des Schiffschronometers, verwirklicht und eingeführt hatte.

Bei seiner Pendeluhr hat Huygens übrigens in erstaunlich weitgehendem Maße äußerste Verfeinerung erstrebt. Es ist von ihm unter eingehender Erforschung der an sich sehr aufschlußreich gewordenen Eigentümlichkeiten der Radlinie (Zykloide) das Zykloidenpendel besonders erfunden worden, um auch bei großer Pendelausschwingung die Unveränderlichkeit der Schwingungsdauern zu sichern. Von der hierzu erforderlichen, von Huygens eingehend beschriebenen, besonderen Zusatzeinrichtung ist man bei den heutigen Uhren zwar wieder abgekommen, da man mit sehr kleinen Pendelschwingungen auszukommen gelernt hat; aber nichtsdestoweniger bringt das „Horologium oscillatorium" den Leser zur Bewunderung „der doppelten Virtuosität, mit welcher Huygens sowohl das, was an die mechanische Praxis, als das, was an die subtilste geometrische Synthese angelehnt werden mußte, in der vollendetsten Weise ausführte"[1]).

Etwa zur selben Zeit — von 1652 an — war Huygens auch mit der Verbesserung der Fernrohre beschäftigt. Nach Kenntnis des Snellschen Lichtbrechungsgesetzes, das Galilei und Kepler noch nicht besaßen, konnte er die Wirkung von Linsen viel feiner überlegen, als es vorher möglich war. So kommt er dazu, auch die Fehler der Linsen (die „sphärische" und „chromatische Aberration") zu erkennen und ihre Abhängigkeit von Brennweite und Öffnung zu untersuchen. Er schleift auch selbst Linsen, darin zum Teil von seinem Bruder Konstantin unterstützt, und führt die Voruntersuchung der zu benutzenden Gläser auf Schlierenfreiheit ein (was mehr als 200 Jahre später von Töpler in Dresden zur größten Verfeinerung gebracht wurde); auch verbessert er die Okulare der Kepler'schen Fernrohre, wovon noch heute das „Huygens'sche Okular" in Gebrauch ist, bestehend aus zwei Konvexlinsen, deren innere mit dem Objektiv zusammenwirkt, so daß das reelle Bild zwischen den beiden Linsen des Okulars entsteht. Die Gesamtheit dieser Untersuchungen ist erst nach Huygens' Tode in seiner „Dioptrik"

---

[1]) E. Dühring, „Kritische Geschichte der Prinzipien der Mechanik". Berlin 1873.

1703 veröffentlicht; doch hat er eine hervortretende Anwendung seiner eingehenden Einsichten, das Fernrohr betreffend, schon früh gemacht: die Entdeckung eines Mondes des Saturn und des frei schwebenden Ringes dieses Planeten, die er in seinem „Systema Saturnium" 1659 veröffentlichte. Galilei hatte den Ring nur in der etwas verschwommenen Gestalt einer Verdreifachung des Saturn sehen können, die später zu verschwinden schien, und nachfolgende Beobachter sahen andere unerklärliche Erscheinungen an diesem Planeten. Huygens konnte mit seinem besseren Fernrohr nach mehrjähriger Beobachtung alles aufklären: der frei schwebend den Saturn umgebende Ring ist eben und dünn, und er ist stark gegen die Erdbahnebene geneigt, bleibt aber sich selbst parallel; daher kommt es, daß er zweimal während eines Saturnumlaufes (das ist etwa alle 15 Jahre) von der schmalen Kante beleuchtet und dadurch ganz oder nahezu unsichtbar wird, während er in den Zwischenzeiten zu bester Sichtbarkeit kommt. Diese Entdeckungen machte Huygens mit einem aus selbstgeschliffenen Linsen zusammengesetzten Fernrohr, dessen Objektiv, welches noch in Utrecht aufbewahrt wird, nur rund $5^1/_2$ cm Durchmesser, jedoch eine Brennweite von 3 m hatte; das Okular war eine kleine Linse von 7 cm Brennweite[1]).

Nächst dem Fernrohr bearbeitete Huygens auch das Mikroskop, wobei er zur Beobachtung kleinster Lebewesen die Dunkelfeld-Beleuchtung[2]) einführte, die — mit heutigen Mitteln verbessert — das Ultra-Mikroskop ergab.

Diese Entdeckungen, sowie die Erfindung der Pendeluhr hatten Huygens' Berufung zur neugegründeten Akademie nach Paris zur Folge, wo er mit ansehnlichem Jahresgehalt und freier Wohnung von 1666—1681 in einflußreicher Stellung lebte. Danach hatte Ludwig XIV. Krieg mit Holland gemacht; Minister Colbert, der Huygens zu schätzen wußte, verlor seinen Einfluß, und die Verjagung der Protestanten (Aufhebung des Ediktes von Nantes 1685) drohte. So zog sich Huygens unter Verlust alles dessen, was ihm bis dahin von Frankreich geboten war, wieder nach Holland zurück auf das väterliche Gut Hofwijck beim Haag, wo er nach noch 14 Jahren ununterbrochener weiterer Tätigkeit 67 Jahre alt verstarb. Eine Familie hat er nicht gegründet, und auch sonst war er einsam geblieben. Nur eine Reise nach England fiel noch in diese letzte Lebenszeit, wo er Newton, seinen 14 Jahre jüngeren Zeitgenossen, persönlich kennen lernte, der ihn hoch schätzte und auch gern für die Universität Cambridge festgehalten gesehen hätte, woraus aber nichts wurde.

[1]) Siehe „Oeuvres complètes de Christian Huygens" Bd. 15, S. 11 u. 23.

[2]) „Oeuvres complètes". Bd. 13, 2, S. 696 (1692).

Huygens' Überlegungen über die Bewegung des Pendels führten ihn zunächst zur Auffindung der jetzt allgeläufigen Formel zur Berechnung der Schwingungsdauer aus der Pendellänge, welche Galilei's Sätze über das Pendel zusammenfaßt und außerdem den genauen Zusammenhang mit der Schwerebeschleunigung des freien Falles gibt[1]). Er sah dabei auch ein, daß die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Schwingungsweite (Amplitude) genau nicht für das gewöhnliche Pendel gelten könne, sondern nur für das Zykloidenpendel, bei welchem der Pendelkörper statt auf der gewöhnlichen Kreisbahn längs einer Radlinie (Zykloide) sich bewegt. Zu diesen Einsichten kam er, indem er als das Wesentliche bei der Bewegung des einfachen Pendels die vorgeschriebene Bahn des Pendelkörpers erkannte, auf welcher derselbe unter dem Einfluß seiner Schwere sich bewegt nach denselben Gesetzen, welche für die Bewegung auf der schiefen Ebene schon durch Galilei bekannt waren, der auch selbst schon die Fallbewegung längs einer Kreisbahn untersucht hatte.

Die weitergehenden Überlegungen über die Bewegung des zusammengesetzten Pendels, das ist eines schwingenden Körpers, der in gar keiner Annäherung als einzelner Punkt betrachtet werden kann, wie beispielsweise eine schwingende Stange, führten Huygens tief in die Erkenntnis des Wesentlichen bei der drehenden Bewegung überhaupt. Dies eröffnete den Weg zur Beherrschung aller beliebigen Bewegungen materieller Körper, so auch der Himmelskörper, nachdem die fortschreitende Bewegung unter dem Einfluß gegebener Kräfte schon durch Galilei im wesentlichen erledigt war. Versuchen wir Huygens' Gedankengang bei diesem wichtigen Schritt hier in der Hauptsache zu folgen, so kann ersichtlich werden, wie auch bei Erkenntnisfortschritten, die verwickelte Dinge betreffen, sehr einfache Gedankengänge zugrunde liegen, wenn auch die vollständige Durchführung oft eine sehr umfassende Aufgabe wird.

Wenn eine an einem Ende drehbar aufgehängte Stange als Pendel schwingt, so würde jeder ihrer einzelnen Teile, für sich allein um die gegebene Achse schwingend, ein einfaches Pendel darstellen, und die Schwingungsdauern dieser einzelnen Pendel wären nach ihren Längen angebbar. Die kürzeren unter diesen Einzelpendeln würden schneller schwingen, die längeren entsprechend langsamer. Da aber alle diese Einzelpendelkörper als Stange fest miteinander verbunden sind, müssen sie alle mit einheitlicher Schwingungsdauer sich bewegen, und es ist die Frage, welches diese Schwingungsdauer sein wird. Huygens gelangte

[1]) Im „Horologium oscillatorium", 2. Teil, Satz 25; in der Übersetzung in „Ostwald's Klassikern" S. 72.

zur richtigen Antwort, indem er — ähnlich wie vorher sein großer Landsmann Stevin — eine allgemein zugängliche und daher gut gesichert schon vorhandene Erfahrung zu Hilfe nahm. Es war eine den Schwerpunkt betreffende Erfahrung. Sie besagt für den vorliegenden Fall, daß mit der Pendelstange, die unter dem Einfluß der Schwere sich bewegt, niemals etwas geschehen werde, was ihren Schwerpunkt zu größerer Höhe hebt, als von welcher er herabgekommen ist, und zwar auch dann, wenn dem Pendel unterwegs Eingriffe widerfahren, die mit seiner Schwere nichts zu tun haben. Schon Galilei hatte beim einfachen Fadenpendel hiervon sich überzeugt, indem er ein solches sowohl frei schwingen ließ als auch an einem Stift vorbei, der den Faden während der Bewegung knickte, so daß die Pendelkugel von da ab auf eine neue Kreisbahn gezwungen wurde, deren Mittelpunkt durch den Stift gegeben war. Niemals kam bei solchen Versuchen die ausschwingende Pendelkugel in größere Höhe hinauf, als von welcher sie losgelassen war, und wenn sie weniger hoch kam, so war das nur offenbare Folge von nicht zum Hauptvorgang gehörigen Reibungswiderständen. Ganz Ähnliches führt Huygens mit der schwingenden Stange in einem Gedankenexperiment aus. Gedankenexperimente wurden seit Stevin überhaupt immer wichtiger in der Forschung; doch müssen sie erlaubter Art sein, nämlich nur Vorgänge umfassen, die mit genügender Annäherung verwirklicht werden könnten. Die Stange schwinge, losgelassen, bis in ihre tiefste, senkrechte Lage, und im Augenblick der Erreichung derselben löse sich der Zusammenhang ihrer Teile derart, daß dieselben von da ab einzeln als einfache Pendel weiterschwingen. Auch hierbei kann der Gesamtschwerpunkt all der Pendelteile nur bis zu derjenigen Höhe steigen, von welcher er herabgekommen war, und er wird diese größte Höhe haben, wenn jedes Einzelpendel in der höchsten Lage seines Ausschwingens festgehalten wird. Man kennt aber die Bewegungen der Teile, da sie einfache Pendel sind. Losgelassen wurden diese Pendel mit den Geschwindigkeiten, die sie im Augenblick der Zertrennung besaßen, das ist mit Geschwindigkeiten, die dem Abstand von der Drehungsachse proportional sind. Kennt man daher eine dieser Geschwindigkeiten, so kennt man sie alle, und man kennt dann auch die Höhenlage des Gesamtschwerpunktes, der am Ende des Ausschwingens festgehaltenen Einzelpendel. Die nun auf bekannten Rechnungsgrundlagen zu erledigende Frage ist umgekehrt diese: Wie groß muß die Geschwindigkeit der Teile bei der Trennung und damit auch die eines beliebigen Punktes des ungeteilten Pendels gewesen sein, damit der Gesamtschwerpunkt nur eben die angegebene Höhe erreiche. Mit der Errechnung dieser Geschwindigkeit, bei der gegebenen Höhenlage, aus welcher die Schwingung begann, hat man auch die gesuchte Schwin-

gungsdauer des zusammengesetzten Pendels, oder auch die Länge des einfachen Pendels von gleicher Schwingungsdauer.

Es taucht bei der zugehörigen Rechnung als wichtig eine Summe auf, gebildet aus allen Produkten je eines Massenteiles des zusammengesetzten Pendels mit dem Quadrat seines Abstandes von der Drehungsachse. Diese hier von Huygens zum erstenmal erfaßte Summe gibt den Schlüssel zur Berechnung aller drehenden Bewegungsvorgänge irgendwelcher Art; sie erhielt später den Namen „Trägheitsmoment" des betreffenden Körpers um die gegebene Achse. Das Trägheitsmoment ist für alle Drehbewegung Maß der Trägheit, ebenso wie es die bloße Masse für fortschreitende Bewegung ist. Daß hier die Quadrate der Abstände der einzelnen Massenteile von der Achse eine Rolle spielen, dies kommt, wie aus Huygens' angegebenen Überlegungen ersichtlich ist, daher, daß — nach Galilei's Fallgesetzen — das Quadrat der Geschwindigkeit eines Körpers Proportionalmaß ist für die Höhe, bis zu welcher er auf irgendeinem Wege — dessen Wahl keinen Unterschied macht — gegen seine Schwere zu steigen vermag, und daß bei der drehenden Bewegung die Geschwindigkeiten den Abständen von der Achse proportional sind.

Es tritt daher bei Huygens auch schon das Produkt aus Masse und Geschwindigkeitsquadrat zum erstenmal als wichtig und maßgebend für Bewegungserscheinungen auf. Besonders bei der Untersuchung der Vorgänge des Stoßes elastischer Körper wird das Bedeutungsvolle dieses Produktes von Huygens klargestellt, indem er zeigt, daß jenes Produkt, für einander stoßende Körper summiert, durch den Stoß nicht geändert wird — wie auch die Geschwindigkeiten sich ändern mögen. Für „Masse" steht freilich bei Huygens meist noch „Gewicht", manchmal auch „Größe" des betreffenden Körpers. Das Besondere des Massenbegriffes wurde erst im weiteren Verfolg dieser Untersuchungen durch Newton geklärt.

Die Untersuchungen der Vorgänge beim Stoß boten ganz besondere Schwierigkeiten, so alltäglich die Vorgänge sind; ihr Besonderes ist, daß sie in unübersichtlich kurzen Zeiten sich abspielen. Schon Galilei war mit dem Stoß beschäftigt[1]), und mit Huygens zugleich (1668) die Engländer Wallis und Wren, der berühmte Baumeister. Wallis untersuchte den Stoß unelastischer Körper, Wren und Huygens den elastischer Körper, und es war wesentlich, daß sie einfache Beziehungen zwischen den Größen der zusammenstoßenden Massen und deren Ge-

[1]) Wenig später auch Markus Marci in Prag (vgl. Mach, „Die Mechanik in ihrer Entwickelung", Leipzig 1933, S. 311 ff.). Mariotte's öfter genannte Schrift über den Stoß war viel später (1677).

schwindigkeiten vor und nach dem Stoße fanden, ohne die Einzelheiten des Vorganges innerhalb der so kurzen Zeit der Berührung der stoßenden Körper untersuchen zu müssen. Huygens ist darin den anderen stark voraus, und die Art, wie er dem Gegenstand beikommt, legt wieder ein besonderes Zeugnis seiner Forscherbegabung ab. Er verknüpft in damals ganz neuartiger Weise die schon von Galilei gewonnene Erkenntnis, daß gleichzeitig vorhandene Geschwindigkeiten verschiedenen Ursprungs einander nicht stören, mit der schon beim zusammengesetzten Pendel von ihm benutzten Erkenntnis vom Nicht-Höhersteigen des Schwerpunktes, und er leitet daraus mit Hinzufügung nur weniger besonderer, auf einfache Stoßfälle sich beziehender Erfahrungstatsachen eine Fülle der wichtigsten Sätze über den Stoß her. Die Übereinstimmung der so gewonnenen Sätze mit der Erfahrung über den Stoß elastischer („harter") Kugeln in vielerlei Fällen festigte das zusammenhängende Gebäude der Kenntnis von den Bewegungsvorgängen.

Es tritt bei allen diesen Untersuchungen von Huygens zum erstenmal auch die dynamische, nicht nur die ursprüngliche, seit Archimedes bekannte, statische Wichtigkeit des Schwerpunktes hervor, sowie die damit zusammenhängende Erkenntnis der Wichtigkeit des Produktes Masse mal Geschwindigkeit, dem der Name „Bewegungsgröße" gegeben wurde[1]). Schon Des Cartes rechnete mit diesem Produkt, aber er beachtete noch nicht, daß dessen umfassende Bedeutung an die Bedingung geknüpft ist, bei den Geschwindigkeiten nicht nur deren Größe, sondern auch deren Richtung zu beachten (sie als Vektorgrößen zu nehmen), also beispielsweise entgegengesetzt gerichtete Geschwindigkeiten mit entgegengesetzten Vorzeichen in die Rechnung zu setzen.

Grundlegend ist es weiter geworden, besonders auch für Newton's bald folgende Fortschritte, daß Huygens auch die Gesetze der Fliehkraft (Zentrifugalkraft) ergründete, jener Kraftart, die bei Drehbewegung und überhaupt krummliniger Bewegung irgendwelcher Körper stets auftritt. Sie wurde von ihm nicht nur zuerst ins Auge gefaßt, sondern auch aufs gründlichste untersucht. Die gefundenen Gesetze, wonach diese stets vom Krümmungsmittelpunkt der Bahn weggerichtete Kraft proportional dem Quadrat der Bahngeschwindigkeit, verkehrt proportional dem Bahnradius und proportional der bewegten Masse ist, gab er schon in seiner Schrift über die Pendeluhr bekannt (1673); die Ableitung erschien, ebenso wie die Ableitung der Stoßgesetze, erst nach seinem Tode aus den nachgelassenen Papieren. Es liegt der Ableitung

[1]) Huygens nennt schon 1669 (im „Journal des Savants") das Streben nach Konstanz dieses Produkts, summiert über ganze Körpersysteme, „une admirable loi de la nature".



Christian Huygens

aber nichts zugrunde als Galilei's Trägheitsgesetz, und als reine Folge der Trägheit wurde diese Kraftart samt ihren Wirkungen von Huygens in so eingehender Weise untersucht, daß auch heute nichts Wesentliches hinzuzufügen ist.

Man sieht in den Arbeiten von Huygens über Bewegungserscheinungen schon teilweise die Bausteine gegeben, welche bald darauf Newton es ermöglichten, das volle Gebäude der Mechanik, auch der Himmelsmechanik zu errichten.

Ganz verschieden von diesen Forschungen an den Bewegungen der materiellen Körper sind Huygens' Untersuchungen über die Natur des Lichtes. Hier liefert er selbst ganz neue Grundlagen aus der Beobachtung mittels ebenfalls neuartiger Überlegungen. Was er vorfand, war die seit Euklid erfaßte geradlinige Ausbreitung und die Spiegelung des Lichtes, dann die von Kepler und feiner von Snell studierte Brechung samt den erfolgreichen Anwendungen im Fernrohr von Galilei bis zu seinen eigenen Entdeckungen und, als besonders bedeutsam, die eben als neu von Römer gesicherte zeitliche Ausbreitung von der Quelle bis zum Auge mit nun bekannt gewordener Geschwindigkeit.

Indem Huygens diese und alle sonst damals vorhandenen Kenntnisse vom Licht und seiner Entstehung zusammennimmt, kommt er dazu, im Licht eine sich fortpflanzende Erschütterung oder Erzitterung zu vermuten, ähnlich dem Schall in der Luft. Jedoch kann das Medium, in welchem das Licht als Erzitterung sich fortpflanzt, nicht die Luft sein. Dies schließt Huygens aus Guericke's und nachher Boyle's Beobachtungen über die unbeeinträchtigte Ausbreitung des Lichtes im luftleer gemachten Raum, woraus für Huygens der weitere Schluß sich ergibt, daß der von aller Materie, auch der Luft, befreite Raum noch immer ein Etwas enthalten müsse, das fähig ist, Erschütterungen fortzupflanzen. Eben dieses Etwas nennt Huygens den Äther. So beginnt bei ihm die Physik des Äthers. Die Hauptsache ist hierbei allerdings der Nachweis, daß das Licht tatsächlich und in jeder Beziehung die besonderen Eigenschaften eines erschütterungsartig in Wellen sich fortpflanzenden Zustandes besitze, und eben hierzu liefert Huygens die ersten, auch für alle Zeiten wichtig gebliebenen Beiträge. Zuerst erläutert er, wie die Eigenschaft der Lichtstrahlen, von beliebigen Richtungen herkommend einander zu durchdringen ohne sich zu hindern oder zu stören, gerade bei Fortpflanzung von Erschütterungen durchaus zu erwarten ist, wie sie sich auch beim Schall findet und wie dies bei den Stoßerscheinungen elastischer Körper von ihm besonders ergründet worden ist. Dabei macht er auf Grund von Beobachtungen auch die Bemerkung,

daß stoßende Kugeln eine vorübergehende kleine Abplattung erfahren, ein Vorgang, der offenbar Zeit braucht, so daß es klar ist, daß ein durch eine Kugelreihe sich fortpflanzender Stoß mit gewisser Verspätung ankommen muß, ganz entsprechend der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes. In den Lichtquellen, zum Beispiel in einer Kerzenflamme, nimmt er an, daß jeder kleine leuchtende Teil selbständig wellenerzeugend wirke, daß aber die vielen Einzelwellen zu größeren Wellenfronten sich zusammenschließen, die dann im Lichtstrahl fertig forteilend gefunden werden, — eine Vorstellung, die auch aller heutigen Kenntnis ganz entspricht.

Über diese Fortpflanzung der Wellenfronten stellt Huygens dann einen Satz auf, der für alle Wellenausbreitungen bis heute gültig gefunden ist und als „Huygens'sches Prinzip" bezeichnet wird, wonach jeder von einer Welle getroffene Teil des fortpflanzenden Mediums seinerseits wie ein neuer Erschütterungsmittelpunkt für seine Umgebung wirkt, wobei dann die so von den einzelnen Punkten des Mediums ausgehenden Elementarwellen wieder zu neuen Wellenfronten längs ihrer gemeinsamen Berührungsfläche sich zusammenschließen. Durch dieses Prinzip ist Huygens imstande, die Reflexion und die Brechung des Lichtes mit ihren bekannten Gesetzen vollständig zu erklären. Für die Brechung ist dabei anzunehmen, daß die Lichtgeschwindigkeit im brechenden Stoffe, zum Beispiel Glas oder Wasser, kleiner sei als im freien Äther, und zwar nach Maßgabe des Brechungsexponenten. Dies konnte 140 Jahre später durch Fresnel und weitere 30 Jahre später in noch mehr direkter Weise durch Foucault (in Paris) als der Wirklichkeit entsprechend gezeigt werden.

Auf eine andere, besondere Probe werden diese Vorstellungen durch Huygens selbst schon gestellt, indem er sie auf die höchst verwickelten Erscheinungen der merkwürdigen Doppelbrechung anwendet, die am isländischen Kalkspat von Erasmus Bartholinus in Kopenhagen entdeckt und beschrieben, aber gänzlich unverständlich geblieben war. Es gibt hier für den einen der beiden Strahlen, die bei der Brechung im Spat aus dem ursprünglichen Strahl entstehen, den „außerordentlichen" Strahl, überhaupt kein Brechungsgesetz, sondern dieser Strahl nimmt je nach Umständen sehr verschiedene, nach dem Snell'schen Brechungsgesetz, das nur für den anderen, den „ordentlichen" Strahl gilt, ganz unerwartete Richtungen an. So kann er zum Beispiel auch bei senkrechtem Einfall Brechung zeigen. Huygens ist imstande, durch sein Prinzip alle diese Sonderbarkeiten vollständig begreiflich und voraussagbar zu machen, indem er nur annimmt, daß im Kristall ein Teil der Lichtausbreitung mit nicht allseitig gleicher Geschwindigkeit vor sich gehe, sondern in Richtung der Kristallachse langsamer und in wachsender

Schiefe zur Kristallachse zunehmend schneller, am schnellsten senkrecht zu ihr. Die Annahme je nach der Richtung verschiedener Lichtgeschwindigkeiten im Kristall war von vornherein nicht unwahrscheinlich, da Kristalle auch sonst, zum Beispiel in bezug auf Festigkeit (Spaltbarkeit), im allgemeinen die besondere Eigenschaft haben, nach verschiedenen Richtungen verschieden sich zu verhalten; die Annahme hat sich auch durchaus bewährt. Huygens verglich die Folgerungen aus seinem Prinzip der Lichtfortpflanzung auch selbst schon in zahlreichen Beobachtungen am Kalkspat und teilweise auch an Quarz (Bergkristall) mit der Wirklichkeit. Dabei machte er die auch an sich wichtige Entdeckung der Polarisation des Lichtes. Er erkannte, daß die Lichtwellen beim Durchgang durch einen Kalkspatkristall „eine gewisse Gestalt oder Anordnung" erhalten, vermöge welcher sie sich je nach der Stellung, in welcher sie auf einen zweiten Kalkspatkristall treffen, anders verhalten. Worin diese „gewisse Gestalt" besteht, konnte erst 143 Jahre später durch Fresnel erklärt werden. Man sieht, wie tief Huygens bei diesen Untersuchungen vorgedrungen ist. Sie wurden zuerst im Jahre 1676 der Pariser Akademie vorgetragen, dann 1690 unter dem Titel „Abhandlung über das Licht" besonders herausgegeben, — eine der bemerkenswertesten Urkunden über große Fortschritte der Naturforschung aus früher Zeit.

Die letzte, von Huygens noch vollendete Schrift, „Kosmotheoros" betitelt und seinem Bruder Konstantin gewidmet, behandelt eingehend den schon von Jordanus Brunus gefaßten Gedanken der Vielheit der gleich der Erde von Lebewesen bewohnbaren und wohl auch bewohnten Planeten im Himmelsraum. Huygens genoß auch in Hinsicht dieser Gedanken den Vorzug einer Heimat, in der er, dank Luther's Wirken, den Bannstrahl des Papstes nicht zu fürchten hatte. Newton, der mit ihm diesen Vorzug teilt, zeigt im Erfolg womöglich noch deutlicher die Bedeutung desselben für die Forschung.

Isaak Newton

(1643—1727).

Nicht ganz ein Jahr nach Galilei's Todestag wurde im Dörfchen Woolsthorpe im östlichen Teil Englands ein schwächliches Kind geboren, das man kaum am Leben zu erhalten hoffte, dem es aber gegeben war, eine der schönsten Erleuchtungen den Menschen zu bringen, die je aus Forschertätigkeit gekommen sind. Newton hat die allgemeine Gravitation, die Kraftart entdeckt und sichergestellt, die die Himmelskörper zusammenhält, Erde, Planeten und Monde in ihren Bahnen leitet, nach festem und höchst einfachem Gesetz wirkend, die aber nach

demselben Gesetze auch den Stein auf der Erde fallen oder seine Wurfbahn beschreiben läßt, ja der alle Materie, irdisch oder himmlisch, klein oder groß an Masse, gleichmäßig unterworfen ist. Zum ersten Mal konnte so die gesamte sichtbare Welt als ein einheitliches großes Ganzes erscheinen; Himmel und Erde hörten auf, Gegensatz zu sein. Und dennoch: nur noch weit staunenswerter als je vorher war dabei das Ganze geworden, da man nun alles eine Einheit bilden sah, verbunden durch jene allvorhandene, überall einheitlich wirkende Kraftart, der alle sichtbare Bewegung unterworfen ist, von der nächsten Umgebung auf der Erde an bis ins ganze Sonnensystem und ebenso in den Fernen der andern Sonnen, die umeinander kreisen. Eine neue Einsicht ging da auf, die, einmal erfaßt, die Menschen wohl in großem Umfang hätte geistig erheben, besser und edler machen dürfen.

Diesen größten Erkenntnis-Zuwachs über die Beschaffenheit der Welt, in die wir, unwissend, uns gesetzt finden, der jemals von einem Einzelnen gebracht worden war, bringt und begründet Newton in dem Werk „Philosophiae Naturalis Principia Mathcmatica" („Maßgerechte Grundlagen des Wissens von der Natur" wäre die sinnvolle Übersetzung). Hier weist er zugleich mächtig aller weiteren Forschung den Weg, ja in bezug auf die Mechanik — die Bewegungsvorgänge der grobsinnlich wahrnehmbaren Körper — schließt er sie sogar in allem Grundsätzlichen ab. Schlägt man das Werk auf, um Einzelnes zu sehen, so ist man, ganz abgesehen von der Hauptentdeckung, in allen Teilen erstaunt und ergriffen von der Größe, dem Umfang, der Gewaltigkeit, sowie der Feinheit des Baues, den er da, festgefügt auf den von Pythagoras, Archimedes, Leonardo, Stevin und ganz besonders von Galilei und Huygens gegebenen Grundlagen, mit den von Kopernikus, Tycho und Kepler gelieferten Stoffen und mit den von Euklid bis Des Cartes bereitgestellten und von ihm selbst aufs Wesentlichste vermehrten Mitteln, errichtet. Nicht minder erstaunt und geradezu überwältigt ist man von der ganz unübersehbaren Fülle von Einzelleistungen, die, von welcher Seite man das Werk auch betrachten und im Besonderen verfolgen mag, dem Verständigen hier sich offenbaren. Das Ganze ist, nach Inhaltreichtum, Gesamt- und Einzel-Gestaltung und nach dem Eindruck ragender Größe, nur einem der alten, großen gotischen Dome zu vergleichen: Man steht staunend davor oder darinnen, versunken im Anblick und am liebsten stumm dem Eindruck sich hingebend. — Der großen, herrlichen Dome sind von den Meistern der Gotik mehrere gebaut worden; unter den Werken der Naturforschung stehen Newton's „Principia" in ihrer Art vereinzelt da. Der Künstler ist in einer anderen Lage als der Naturforscher; er kann aus seinem Geiste unbedingt schöpfen und schaffen, und er wird, sofern ihm

die materiellen Mittel gegeben sind, stets seiner Geistesgröße Entsprechendes vollbringen. Der Naturforscher aber ist in seinen Werken außer auf die Gunst der äußeren Mittel vor allem angewiesen auf die mühevolle, lebenserschöpfende Einsammlung von Naturerkenntnis, die nur von außen her, aus der umgebenden Welt, wie sie eben ist — und sie ist meist überraschend und von vornherein unergründlich eigenartig — genommen werden kann. Ohne großen, so eingesammelten Vorrat von Erkenntnis kann kein großes Werk der Naturforschung entstehen, und hier hatte Newton der schon geleisteten Arbeit so vieler seltener Geister, die wir soeben genannt haben, von Archimedes bis Huygens, sich zu erfreuen. So großen vorhergegangenen Leistungen ist aber auch die Art würdig, wie er dieselben erfaßt und in seiner Weise aufs Umfassendste vermehrt als Denkmal hingestellt hat, und es darf mit Dank erfüllen, daß die Naturforschung durch ihn ein solches Denkmal besitzt.

Um nun besonders das Neue zu betrachten, was er selbst beifügte, müssen wir uns wegen dessen Fülle Einschränkung auferlegen — noch mehr, als dies schon Huygens gegenüber der Fall war —, nicht ohne aber doch im Wesentlichsten ein vollständiges Bild zu geben.

Eine besondere Leistung Newton's ist die sehr fortgeschrittene **Klärung der Grundbegriffe**: Masse („Massa“ oder „Corpus“[1]); Gewicht („Pondus“); Kraft („Vis“). Ohne diese Klärung hätte freilich das Gebäude der „Principia“ gar nicht errichtet werden können. Masse bedeutet für ihn — wie ganz allgemein heute — durchaus das **Maß der Trägheit**, das ist die zahlenmäßig zu fassende Angabe für die Größe des von Galilei entdeckten, jedem Körper eigenen Sträubens gegen Geschwindigkeitsänderung[2]). Kraft ist jede Ursache von Ge-

[1]) Newton schrieb seine „Principia“ in Latein; seine „Opticks“ hat er englisch abgefaßt.

[2]) Diese Bedeutung von „Masse“ bei Newton entspricht durchaus der Anwendung dieses Wortes im Gesamtinhalt der „Principia“. Daß die Wortdefinition des Begriffes „Masse“ von Newton nicht ausdrücklich dementsprechend gefaßt worden ist, ist öfters bemängelt worden. Man muß aber bedenken, daß in der Naturforschung Begriffe keineswegs auf Wortdefinitionen fußen, sondern daß, gerade umgekehrt, die Begriffe an der Hand der wachsenden Erfahrung allmählich sich zurecht bilden müssen, um so beschaffen zu sein, daß sie bei der Darstellung der beobachteten Wirklichkeit am besten dienen können. Ist man mit wachsender Erfahrung zu solchen, dienlichen Begriffen gelangt, dann kann man dazu schreiten, diesen geistigen Besitz mit Worten zu beschreiben, das ist: eine Definition für den Begriff hinzustellen (vgl. „Deutsche Physik“, Bd. I, Einl., Abs. 9 u. 13). Was also die Bemängler wohl zu Recht meinen könnten, ist: Daß Newton zwar in den vollen Besitz des dann auch bis heute feststehend gebliebenen Begriffes „Masse“ gekommen ist, daß er aber eine verbesserte Wortdefinition (samt der selbstverständlichen Weiterprüfung der Brauchbarkeit des Begriffes) der Nachwelt überlassen hat. Was die Erfahrung in betreff des Massen-

schwindigkeitsänderung. Gewicht ist die Größe der Schwerkraft, die auf den betreffenden Körper auf der Erde wirkt. Daß Masse und Gewicht bei allen Körpern einander proportional sind, wird klar als Erfahrungssatz hingestellt[1]); die zugrundeliegende Erfahrung ist der schon von Stevin und Galilei erkannte, von letzterem gedeutete gleichschnelle Fall aller Körper und in Verfeinerung das von Galilei erfaßte gleichschnelle Schwingen aller gleichlangen Pendel[2]). Letzteres prüft Newton noch feiner als Galilei mit Pendeln aus Stoffen von so verschiedenem spezifischem Gewicht und so verschiedener Art wie Gold, Silber, Blei, Glas, Sand, Kochsalz, Holz, Wasser, Weizen, und findet es durchaus bestätigt[3]). Bei diesen Versuchen berücksichtigt er auch den Reibungswiderstand, dem Pendel, wie alles sonst Bewegte, mindestens in der Luft stets unterliegen, wozu er eine umfassende, an sich grundlegend gewordene Untersuchung über die Reibungskräfte in verschiedenen Medien überhaupt vorausgehen läßt.

Ein zweiter großer Schritt Newton's ist die scharf gefaßte Hinstellung von drei Bewegungsgesetzen für alle Materie. Die ersten beiden sind: 1. Galilei's Trägheitsgesetz und 2. Galilei's Gesetz der den Kräften proportionalen Beschleunigungen, wobei aber Newton statt Beschleunigung, d. i. (auf die Zeiteinheit bezogene) Änderung der Geschwindigkeit, die Änderung der Bewegungsgröße setzt, d. i. die (auf die Zeiteinheit bezogene) Änderung des Produktes aus Geschwindigkeit und Masse, welches letztere Produkt schon bei Huygens' Untersuchungen als maßgebend für Kraftwirkungen aufgetreten war. Es ist klar, daß diese von Newton eingefügte Verfeinerung gegenüber Galilei nur bei veränderlichen Massen (oder Trägheitsmomenten) von Bedeutung ist; daß sie aber in diesem Falle auch sogar für nichtmaterielle Massen das Richtige trifft, haben neue Erfahrungen gezeigt[4]). Unmittelbar klar ist, daß das Trägheitsgesetz nur ein Sonderfall des allgemeinen 2. Bewegungsgesetzes ist, der aber infolge seiner an sich schon inhaltsschweren Wichtigkeit allerdings besondere Hinstellung angemessen erscheinen läßt. Kraft ist, entsprechend ihrer Definition, nach dem 2. Gesetz für alle Bewegungsänderung maßgebend. Dabei ist aber das Besondere, daß man Kraft auch ohne Bewegungsänderung fest-

---

begriffes seit Newton noch hinzuzufügen fand, stammt aus neuester Zeit; es gehört dem letzten in der Reihe der von uns betrachteten Forscher zu; an dem Begriff selbst hat es nichts geändert.

[1]) „Principia", Lib. I, Def. I.

[2]) „Unterredungen", I. Tag; in der Übersetzung in „Ostwald's Klassikern" S. 75.

[3]) „Principia" Lib. III, Prop. VI.

[4]) Bei Hasenöhrl vermerkt. Eingehend in der „Deutschen Physik", Bd. IV, Abs. 436 und 481.

stellen und messen kann, nämlich in den schon von Archimedes an untersuchten Fällen von Gleichgewicht mit anderen Kräften, z. B. mit Schwerkräften (Gewichten) auf der Waage; dies berücksichtigt Newton durch eine besondere Zergliederung des Begriffes „Kraft".

Das 3. Bewegungsgesetz führt er selbst neu ein; es ist das Gesetz von der Gleichheit von Kraft und Gegenkraft („Actio" und „Reactio"). Es betrifft eine besondere Eigenschaft aller Kräfte in der Natur, nämlich das paarweise Vorhandensein derselben, so daß zu jeder irgendwo angreifenden Kraft eine in gleicher gerader Linie sonstwo angreifende Kraft von gleicher Größe, aber entgegengesetzter Richtung gehört. Dieses Gesetz entnimmt Newton ausdrücklich der Erfahrung — sehr einfachen und alltäglichen Erfahrungen, für die er Beispiele angibt —, so wie auch Galilei die beiden ersten Gesetze der Erfahrung entnommen hat und wie es jedem Wissenden als selbstverständlich gilt, daß alles, was Naturerkenntnis betrifft, allein nur aus Erfahrung entnommen werden kann. Zur Erfahrung gehören dabei auch alle Beobachtungen des Zutreffens der Folgerungen, welche aus den Gesetzen gezogen werden, die vielleicht ursprünglich nur aus einem geringen Maß von Erfahrung genommen waren.

Mit diesen drei Bewegungsgesetzen hat es bei Newton aber noch eine besondere Bewandtnis; sie gewinnen bei ihm sogleich eine früher nicht — auch von Huygens nicht merklich — gedachte Bedeutung, nämlich die, einfach selbstverständlich für alle Materie gültig zu sein, auch für die im Himmelsraum. Dadurch eben wird Newton zum Begründer der Himmelsmechanik. Daß ihm diese Mechanik gelingen konnte — und sie gelingt ihm bis zu einer Feinheit, die bis heute nichts Wesentliches zu tun übrig ließ — mit Bewegungsgesetzen, die nur an irdischer Materie gewonnen waren, daß es also für alle Materie gültige Bewegungsgesetze gibt, dies war freilich nicht vorauszusagen gewesen; Newton hat es vielmehr eben durch die erfolgreich durchgeführte Entwicklung der Himmelsmechanik erst bewiesen, und dies bedeutet, auch ohne die gleichzeitige Aufdeckung des Gravitationsgesetzes, schon allein einen großen, neuen Einblick in die Beschaffenheit der Welt. Man weiß aus den durch das Doppler'sche Prinzip kontrollierten Bewegungen der fernsten Doppelsterne, daß dort Bewegungsvorgänge derselben Art ablaufen mit Kräften derselben Art, wie in unserem Sonnensystem.

Newton's drei Bewegungsgesetze sind auch heute noch erschöpfend maßgebend für alle bekannten Bewegungsvorgänge der Materie, ja, wie bemerkt, auch darüber hinaus, und insofern hat die Dynamik (die Bewegungslehre aller Massen) durch Newton ihren vollkommenen grundsätzlichen Abschluß erreicht.

Durch die strenge Anwendung der Bewegungsgesetze auf die Himmelskörper kommt Newton zur Erkenntnis der Kräfte, die zwischen ihnen wirken. Daß solche Kräfte vorhanden sein müssen, etwa schon zwischen Erde und Mond, ergibt sich aus der Krummlinigkeit der Bahn des Mondes; ohne Kraftwirkung würde er nach dem Trägheitsgesetz nur geradlinig gleichförmige Bewegung besitzen können. Es ist mit dem Mond, wie mit einem horizontal geschleuderten Körper auf der Erde, der ebenfalls eine nach der wirkenden Kraftrichtung hin gekrümmte Bahn beschreibt. Wird die Geschwindigkeit des horizontal geschleuderten Körpers genügend groß gemacht, so muß es dazu kommen, daß er nicht mehr zur Erde fällt, sondern die Erde umkreist, wie der Mond, wenn die Kraft ihn, wie die gewöhnliche Schwere, allseitig gegen den Erdmittelpunkt zieht[1]). Für alle die bekannten Bahnen der Monde und der Planeten müssen ebenso Kräfte vorhanden sein, die von allen Seiten her nach je einem festen Punkte hin gerichtet sind. Newton kommt so zur eingehenden Betrachtung solcher „Zentripetalkräfte", über die er eine große Menge von Lehrsätzen entwickelt. Er leistet dabei zu einem Teil dasselbe, was Huygens mit seiner „Zentrifugalkraft" (Fliehkraft) geleistet hatte[2]); denn Zentripetal- und Zentrifugal-Kraft sind bei einer Kreisbahn einander gleich, nur entgegengesetzt gerichtet. Newton untersucht dann die Bahnformen und die Bewegung in ihnen bei verschiedenen Gesetzen der Zentripetal-Kraft, und zwar ohne und mit Reibungskraft, welche letztere wieder der ersten oder der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional sein kann, wobei eine große Menge von Geometrie entwickelt wurde[3]). Es zeigt sich, daß Bewegung nach allen drei Kepler'schen Gesetzen nur zustande kommt, wenn die Zentripetalkraft gegen den Brennpunkt der elliptischen Bahn (allgemeiner: Kegelschnittsbahn) gerichtet ist, und wenn sie nach dem verkehrten Entfernungsquadrat wirkt und massenproportional ist, bei Abwesenheit aller Reibungskräfte. Nach dem 3. Bewegungsgesetz muß die Kraft zwischen Sonne und Planeten, Erde und Mond, gegenseitig sein, woraus folgt, daß jeweils beide in Bewegung sein müssen, und zwar um den gemeinsamen Schwerpunkt, sowie daß die Massen beider gleichmäßig für die Größe der Kraft in Betracht kommen. Damit war das Gesetz der tatsächlich zwischen Sonne und Planeten wir-

[1]) „Principia", Lib. I, Erläuterungen zu Def. V.

[2]) Newton erkennt Huygens' vorhergegangene Leistung durch eine besondere Bemerkung auch ausdrücklich an („Principia" Lib. I Sect. II, Prop. IV. Scolium).

[3]) Newton hat in einer besonderen Abhandlung auch zum erstenmal die Linien dritter Ordnung eingehender studiert; er wirkt überhaupt als außerordentlicher Erweiterer der von Des Cartes begründeten analytischen Geometrie.



Isaac Newton

kenden Kraft, der Gravitation erfaßt. Da auch die vier Monde des Jupiter und die Monde des Saturn (von denen zu Newton's Zeit im ganzen schon 5 aufgefunden und beobachtet waren) nach den gleichen Gesetzen sich bewegen, was Newton eingehend zeigt, ist auch für diese Körper die Geltung des Gravitationsgesetzes nachgewiesen, und ebenso endlich auch für die Kometen, da sie sich, wie Newton — hier wesentlich durch Mitarbeit seines Schülers Halley[1]) unterstützt — für mehrere derselben zeigt, in Kegelschnitten mit dem Brennpunkt in der Sonne bewegen. So zeigt sich das Gravitationsgesetz für je zwei Massen des Planetensystems gültig: daß sie einander mit Kräften anziehen, die den beiden Massen proportional und dem Quadrat des Abstandes verkehrt proportional sind.

Newton betrachtet als eine Folge davon auch schon die „Störungen", welche die Planeten durch ihre gegenseitigen Kräfte aufeinander ausüben müssen und welche über die Kepler'schen Gesetze hinausgehen, und besonders betrachtet er den Einfluß der Gravitationskraft zwischen Sonne und dem Mond der Erde auf die Mondbahn, wobei er die Ungleichheiten in der Mondbewegung eingehend erklärt.

Wenn das Gravitationsgesetz für je zwei beliebige Massen gilt, muß es auch für zwei beliebige Teile der Erde gelten; so auch für einen Körper auf der Erdoberfläche und die gesamte Erdkugel. Die danach auf den Körper wirkende Kraft, die als seine Schwere oder als sein Gewicht wohlbekannt ist, muß dann aber die Resultierende all der Einzelkräfte sein, die zwischen dem gegebenen Körper und allen einzelnen Teilen der Erdkugel nach Maßgabe der Massen und der Entfernungsquadrate wirken. So kommt Newton dazu, solche resultierende Kräfte für kugelförmige Massen wie die Erde (teilweise auch für nicht kugelförmige) zu berechnen. Er findet, daß die Resultierende für jeden angezogenen Punkt außerhalb der Kugel genau die Größe und Richtung hat, als wäre die Gesamtmasse der Kugel in ihrem Mittelpunkt vereinigt. Für angezogene Punkte innerhalb der Kugel ergibt sich ein anderes Gesetz; hier nimmt die Kraft mit Annäherung an den Kugelmittelpunkt ab und zwar einfach proportional dem Abstand vom Kugelmittelpunkt, wonach man auch die im Erdinneren wirkenden Schwerkräfte kennt. So kommt Newton auch dazu, einwandfrei die Schwere auf der Erdoberfläche zu vergleichen mit der in Entfernung des Mondes wirkenden Erdgravitation, welch letztere gleich der Fliehkraft des Mondes, also nach Huygens' Angaben aus dem Abstand und der Umlaufszeit des Mondes einfach berechenbar ist. Es findet sich mit der erst zu Newton's Lebenszeit genügend genau ermittelten Angabe über die Größe des Erdradius, daß in der Tat von der Erdoberfläche bis zum Mond die Schwere nach Maß-

[1]) Halley hatte zwar in Oxford studiert, wandte sich aber früh an Newton.

gabe des Quadrates der Entfernung vom Erdmittelpunkt abgeschwächt ist, daß also die altbekannte irdische Schwere tatsächlich nur ein Sonderfall der allgemeinen Gravitation ist[1]).

Auch die Abplattung der Erde infolge der Fliehkraft berechnet Newton zu einer Zeit, da man teilweise noch meinte, sie sei ein in Richtung der Achse verlängertes Ellipsoid. Er berechnet auch die damit zusammenhängende Zunahme der Schwerkraft auf der Erdoberfläche vom Äquator nach den Polen hin, wodurch vorhandene unerklärliche Beobachtungen über veränderten Gang von Pendeluhren, wenn man mit ihnen in andere geographische Breiten reiste, vollkommen erklärlich und weiter sogar zur Untersuchung der Form des Erdkörpers verwertbar wurden. Hierbei wurde es auch zum erstenmal unmittelbar klar, daß Gewicht und Masse zwar für beliebige Körper am selben Ort einander proportional sind, daß aber das Gewicht jedes Körpers auch unabhängig von seiner Masse sich ändern kann, wie es nach dem Gravitationsgesetz sein muß.

Eine ganz besondere Leistung war auch die endliche Auffindung der zutreffenden und vollständigen Erklärung der von Urzeiten her bekannten Ebbe- und Flutbewegungen des Meeres. Galilei und Kepler hatten sich vergeblich um die Erklärung bemüht, obgleich letzterer schon eine Anziehung des Mondes auf das Wasser der Erde annahm, wie er zeitweilig auch an eine von der Sonne ausgehende, auf die Planeten wirkende Anziehungskraft dachte. Die Anziehungskraft des Mondes könnte nur die dem Monde zugewandte Wasseranhäufung auf der Erde erklären, nicht aber die stets gleichzeitig vorhandene Anhäufung auf der vom Mond abgewandten Seite. Die Gesamtheit der Erscheinungen ergibt sich, wie Newton zeigt, aus dem Zusammenwirken von Gravitation und Fliehkraft, wobei die letztere dadurch sich ergibt, daß auch die Erde monatlich kreist, nämlich zusammen mit dem Mond um den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond. Zudem ist auch noch die Mitwirkung der Sonne zu berücksichtigen, was Newton ebenfalls durchführt. Er geht aber noch weiter, indem er nicht nur etwa dem Sinne nach (qualitativ) richtig und vollständig die Ebbe- und Fluterscheinungen erklärt, sondern er führt alles zahlenmäßig auswertbar (quantitativ) durch, was ihm ermöglicht, aus den bekannten Fluthöhen sogar die Masse des Mondes im Verhältnis zur Erdmasse richtig zu berechnen.

So wurde es möglich, nicht nur den Gestirnen bestimmte Massen zuzuschreiben, nach fest definiertem Begriff, was vorher ganz fern lag, sondern die Massen sogar zahlenmäßig zu ermitteln. Die Massenberech-

[1]) „Principia". Lib. III, Prop. IV.

nung erfolgt stets nach dem Gravitationsgesetz; sie ist nur möglich, wenn der betreffende Körper einen anderen merklich in Bewegung setzt, so wie der Mond das Wasser der Erde. Erde, Jupiter, Saturn bewegen ihre Monde; daraus berechnet Newton die Massen dieser Planeten. Die Sonne bewegt sämtliche Planeten; so ermittelt er auch die Masse der Sonne. Da er demnach die Massen aller dieser Himmelskörper, Sonne, Planeten und Mond, kennt, kann er mit Hinzunahme von deren bekannten Durchmessern ihre Masse in der Volumeinheit, also auch das spezifische Gewicht des Stoffes, aus welchem sie bestehen, berechnen, wobei zunächst immer die Erde als Vergleichskörper dient. Er findet so z. B., daß der Mond aus spezifisch schwererem Stoff, Jupiter und Sonne aus leichterem Stoff bestehen als die Erde. Indem er dann das mittlere spezifische Gewicht des Erdkörpers ganz richtig auf 5 bis 6 schätzt[1]), kann er die spezifischen Gewichte der Stoffe der anderen Himmelskörper auch in gewöhnlichem Maße angeben. Auch sogar die Größen der Schwerkräfte auf den Oberflächen von Mond, Jupiter, Sonne werden angebbar. — Welcher Unterschied in der Erkenntnis der unnahbaren Himmelskörper gegen vorher! Wir sind durch Newton fast heimisch geworden auf ihnen.

Auch die Bewegungen der Erdachse mit der Folge des Voranschreitens der Tag- und Nacht-Gleichen (Präzession, samt der darübergelagerten Nutationsbewegung) hat Newton schon rechnend verfolgt.

Sehr bemerkenswert ist auch sein Schluß, daß der Gesamtschwerpunkt des Sonnensystems entweder ruht oder in gleichförmig geradliniger Bewegung sich befindet. Es ist dies ein großer Beispielsfall für das schon von Huygens teilweise erfaßte, von Newton mittels seines 3. Bewegungsgesetzes ganz erkannte „Schwerpunktsprinzip", wonach der Gesamtschwerpunkt eines Körpersystems unbeeinflußt bleibt (oder die gesamte „Bewegungsgröße" ungeändert bleibt), wenn alle Kräfte samt deren Gegenkräften nur innerhalb des Systemes angreifen. Bloß wenn von außen wirkende Kräfte da sind, Kräfte, deren Gegenkräfte außerhalb des Systemes angreifen, erfährt der Schwerpunkt eine dem 2. Gesetz entsprechende Beschleunigung (die „Bewegungsgröße" eine entsprechende Änderung).

Diese weitumfassenden Untersuchungen hat Newton durch Erfindung einer besonderen Rechnungsweise sich zugänglich gemacht, der „Fluxionsrechnung", wie er sie nennt (die spätere Infinitesimalrechnung, Differential- und Integral-Rechnung bei Leibniz). Es ist das eine Rechnungsweise mit unendlich kleinen Größen, für die schon früh das Bedürfnis auftauchte. Schon Galilei mußte bei Verfolgung

[1]) „Principia", Lib. III, Prop. X.

der einfachen Bewegung des freien Falles die ganze Fallzeit in Teile zerlegen, um die in jedem Zeitteil vorhandene Geschwindigkeit einzeln betrachten zu können, und Ähnliches kommt bei Untersuchung jeder Art von Bewegung vor. Da aber die Geschwindigkeit stetig sich ändert, nicht sprungweise, müßten die Zeitteile für streng zutreffende Rechnung unendlich klein sein, wobei dann freilich auch die zugehörigen Wegteile unendlich klein werden, und die Frage übrig bleibt, wie man das Verhältnis von Weg und Zeit, die Geschwindigkeit, als Verhältnis zweier unendlich kleiner Größen aufzufassen und zu berechnen habe. Ebenso war bei Des Cartes' Regenbogen-Rechnung und bei Mariotte's Rechnung über die Druckverteilung in der Erdatmosphäre die Notwendigkeit aufgetreten, Zerlegungen mit vielen Einzelberechnungen vorzunehmen, was aber doch bis zu beliebiger Genauigkeit befriedigend erst dann geworden wäre, wenn man bis zu einer Zerlegung in unendlich viele unendlich kleine Teile hätte fortschreiten können. Newton erkannte, daß beim Fortschreiten zu immer feinerer Zerteilung das Verhältnis je zweier zusammengehöriger Größen, wie z. B. Weg und Zeit, worauf es zuletzt immer ankommt, einer festen Grenze sich nähert, obgleich die Größen einzeln immer kleiner werden, und seine besonderen, auch an sich ergebnisreichen mathematischen Studien, auf die wir hier nicht eingehen, ermöglichten ihm, Regeln für die unmittelbare Berechnung solcher streng für unendlich kleine Zerteilung geltenden Grenzwerte anzugeben. Dies ist der Grundgedanke von Newton's Fluxionsrechnung, die ihm die gesicherte Lösung vieler bis dahin nur höchst umständlich oder gar nicht zugänglich gewesener mathematischer Aufgaben überhaupt erst ermöglicht haben dürfte[1].

Die „Principia" sind aber durchaus nicht etwa auf Himmelsmechanik beschränkt; sie entwickeln und vermehren vielmehr die Gesamtkenntnis von der Natur ganz allgemein in einer Weise, die für weit hinaus grundlegend wurde, so daß viele spätere Leistungen in den Einzelgebieten dagegen unbedeutend erscheinen, da sie keine wesentlich neuen Erkenntnisse hinzubringen, sondern nur das bereits Gegebene verfeinern. Besonders die Grundzüge der Bewegungserscheinungen in Flüssigkeiten und Gasen (Hydrodynamik und Aerodynamik), worüber bisher nur Torricelli's Satz vorhanden war, wurden von Newton geradezu erschöpfend an charakteristischen Einzelfällen entwickelt[2]. Er untersucht Strömungserscheinungen und Wirbelfäden in

[1]) Der Weg, welchen Newton dabei beschritten hat, ist im einzelnen in den „Pricipia" nicht dargelegt. Da die heutige, leicht zugängliche Durchführungsweise der Fluxionsrechnung erst später von Leibniz voll ausgebildet wurde, ist es um so mehr erstaunlich, was Newton damals alles bewältigt hat.

[2]) „Principia", Lib. II.

Flüssigkeiten, Schwingungen von Flüssigkeiten in U-Röhren, Wellenfortpflanzung, innere Reibung, Widerstände von Geschossen, gedämpfte Schwingungen und vieles Dazugehörige. Dadurch ist er auch Begründer der Lehre vom Schall (Akustik) geworden. Er entwickelt auf Grund eingehender Einsicht in den Wellenvorgang die Berechnungsweise der Schallgeschwindigkeit mit dem Ergebnis, daß sie gleich der Wurzel aus dem Verhältnis von elastischer Kraft (Druck der Luft) und Dichte (spezifisches Gewicht) ist, und schließt daraus schon, daß die Schallgeschwindigkeit mit zunehmender Temperatur steigen müsse. Die Berechnung stimmte mit der damaligen schon seit Leonardo aus Beobachtungen über Echo und dergl. erlangten Kenntnis über die tatsächliche Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalles überein. Erst 130 Jahre später hatte Laplace noch etwas Neues hinzuzufügen, das die Übereinstimmung auch mit den späteren, verfeinerten Schallgeschwindigkeitsmessungen vollständig machte. Auch den für alle Wellenvorgänge grundlegenden, einfachen Zusammenhang zwischen Ausbreitungsgeschwindigkeit, Wellenlänge und Schwingungsdauer, beziehlich Schwingungszahl, entwickelt Newton; er berechnet danach die Wellenlänge für einen Ton von bekannter Schwingungszahl[1]) und findet sie gleich der doppelten Länge der offenen Pfeife, die den Ton hervorbringt. Auch die Geschwindigkeit von Wasserwellen mit ihrer Abhängigkeit von der Wellenlänge berechnet Newton schon richtig (für kleine Schwingungsweiten) unter der Annahme geradliniger Bewegung der Wasserteile; er gibt aber schon an, daß die Bewegung in Wirklichkeit in Kreisen vor sich geht, was 140 Jahre später von Wilhelm Weber weiter verfolgt wurde. Die auf Newton's Grundlage weiter entwickelte Hydrodynamik hat dann auch die Wellengeschwindigkeit für beliebige Amplituden zu berechnen vermocht, ohne daß indessen grundsätzlich Neues über diese durch die Schwerkraft bewegten Wellen hinzukam.

---

[1]) Für die Ermittelung der Schwingungszahl führt Newton Sauveur in Paris an, der in der Tat zum erstenmal absolute Schwingungszahlen von Tönen ermittelte. Es geschah dies mittelst Zählung der Schwebungen (die auch Sauveur zuerst richtig zu deuten lehrte) zweier tiefer Töne, die im Verhältnis der Sekunde zueinander standen, wonach die beiden unbekannten Schwingungszahlen aus Differenz und Verhältnis berechenbar waren. Alle anderen Töne waren dann mittels des Gehörs, nach Galilei's Erkenntnis von den festen Schwingungszahlen-Verhältnissen der musikalischen Intervalle, ebenfalls absolut angebbar. Sauveur (1653—1716) hatte auch eingehend die verschiedenen Schwingungsformen von Saiten, die zu ihren harmonischen Obertönen gehören, untersucht. Papierreiter und leise Berührung dienten ihm — wie auch heute — dazu, und auch die Namen „Knoten" und „Bäuche" solcher „stehenden Wellen" rühren von ihm her.

Das Umfassende seiner „Principia“ gibt Newton selbst zu erkennen aus seiner kurzen Mit-Anführung derjenigen Teile der Naturerkenntnis, die erst ganz in den Anfängen oder überhaupt nur andeutungsweise vorhanden waren, von denen er sagt, daß „nicht genügende Erfahrung (copia experimentorum) vorliege, um Festbestimmtes darüber aufweisen zu können“[1]. Er nennt hier die Kräfte, mit welchen die be-



Bild 17. Isaak Newton.

nachbarten Teile der Körper in kleinsten Abständen einander anziehen, so daß sie zusammengehalten werden, wobei ersichtlich wird, daß er diese Kräfte — die Molekularkräfte und die chemischen Kräfte in heutiger Ausdrucksweise — nicht mehr wie Galilei (und auch noch Huygens) auf einen äußeren Druck zurückzuführen sucht, sondern daß er sie ähnlich der Gravitation wirkend, aber doch von derselben verschieden ansieht. Er nennt auch die elektrischen Anziehungen und Ab-

[1] Schluß des „Scolium generale“ am Ende der „Principia“.

stoßungen, die auf größere Abstände wirken, das Licht mit seinen Erscheinungen und seiner Wärmewirkung und — die Erscheinungen der Lebewesen. Die letzteren Erscheinungen sind es, deren Besonderheit wir heute, 250 Jahre später, in allen Hauptsachen noch ebenso staunend in so gut wie völliger Unkenntnis gegenüberstehen wie einst Newton. Fast in gleicher Weise gilt dies auch von der Ursache der Gravitation („Causam gravitationis nondum assignavi“[1])). Wir wissen mit Newton, daß sie keiner Materie fehlt, daß sie von deren einzelnen Teilen im ganzen Volum jedes Körpers ausgeht, wobei sie durch alles hindurchwirkt und bis in große Fernen ihr Entfernungsquadratgesetz einhält, und fast gilt es noch, wie Newton sagt: „Genug, daß das Dasein der Gravitation offenbar geworden ist und daß ihr Wirken nach den von uns dargelegten Gesetzen sichergestellt ist und die Bewegungen der Himmelskörper und die unseres Meeres ausreichend erklärt"[2]). In der Physik des Äthers, welcher die anderen, seit Newton verständlicher gewordenen Erscheinungen angehören, sind wir in diesen 250 Jahren einigermaßen fortgeschritten. Aber erst die letzten Jahrzehnte haben als Ergebnis hiervon auch über die Gravitation einiges gezeigt, was über Newton hinausgeht: Daß sie nicht nur der Materie zugehört, sondern allen Massen, auch den nichtmateriellen Energiemassen, die erst seit Hasenöhrl erfaßbar wurden; daß sie wohl — in übrigens unbekannter Weise — durch die Ätherhüllen vermittelt werde, die allen Massen zugehören, und daß sie — so weit zu sehen — bei gegenseitiger Lichtgeschwindigkeit der Massen versagt[3]). Die Lebenserscheinungen zeigen sich in ihrer Verwurzelung noch weiter jenseits des heute vom Äther Bekannten liegend, so wie der Äther in seiner Verständnis-Zugänglichkeit jenseits der Materie liegt, — nicht ohne daß aber Materie doch aufs engste mit dem Äther verknüpft erscheint, zum Zeichen, daß alles, uns Nächstliegendes wie Fernstes, überall in der Natur zusammenhängt.

„Hypotheses non fingo“ sagt Newton[4]) angesichts der Grenzen seiner Erkenntnisse, und er meint damit: „Bloße Vermutung — nicht gehörig aus den Erscheinungen Abgeleitetes — gebe ich nicht als Wissenschaft aus". Die hierin liegende Mahnung ist sicher von unvergänglicher Gültigkeit, falls Naturforschung das bleiben soll, was alle großen Forscher in ihr sahen: Beibringung von Wirklichkeits-Erkenntnis.

---

[1]) „Scolium generale.“

[2]) Im „Scolium generale“.

[3]) „Über Energie und Gravitation", Heidelberger Akad. 1929; auch „Deutsche Physik", Bd. IV, Abs. 582—591.

[4]) Im „Scolium generale“.

Nicht als außerhalb der Naturforschung liegend betrachtet Newton die Frage nach der Gottheit; denn er behandelt sie ebenfalls in den „Principia mathematica philosophiae naturalis“ kurz am Schlusse des Werkes[1]). Er tut damit recht, insofern er in allem gänzlich unverstandenen Wissen unmittelbare Wirkung der Gottheit sieht[2]), und insofern eine Gottheit, die nicht aus allem Geschehen in der Natur, auch in der unbelebten, erkennbar wäre, diesen Namen, mit dem höchstes, über menschliche Enge hinausgehendes Streben verbunden ist, gar nicht verdiente. Mehr oder weniger verstandenes Wissen stellt sich somit in Newton's Anschauung als mehr oder weniger in einigen Einzelheiten verfolgbar gewordenes Wirken der Gottheit dar. Daß es durch die Verfolgbarkeit weniger wunderbar geworden wäre als das gar nicht verfolgbare Wirken, wie in den Lebewesen, hat keiner der Größten unter den Naturforschern je behauptet; nur das Gegenteil spricht aus ihren Äußerungen, und die Ergebnisse der Forschungen zeigen das ohne weiteres: Jedes erlangte große Verstehen — wie das der Kepler'schen Gesetze vermittels der Gravitation — offenbart sofort ein neues großes Nichtverstehen: „Rationem vero harum Gravitatis proprietatum ex phaenomenis nondum potui deducere“ („Aber das Warum dieser Eigenschaften der Gravitation habe ich aus den Erscheinungen nicht zu ergründen vermocht"), und so steht es auch heute noch. Immer zeigt uns die gesamte, je erlangte Kenntnis von allem sinnlich Wahrnehmbaren nur dasselbe Bild, das Newton in seinen alten Tagen gab: Einige schöne Kiesel und Muscheln, gefunden am Rande des großen Ozeans des Unerkannten. Aber eben der staunenerregende Allzusammenhang alles dessen, was wir diesem Ozean zu entfischen vermochten, und was damit näher erkennbar wurde, gibt uns die Beruhigung, daß der Geist des Sterblichen mit Recht in diesen Ozean flüchten dürfe, dessen Teil er doch selbst ist und wohin es ihn zieht, um Menschen-Ängste zu überstehen und wenn er sein Dasein begreifen möchte.

[1]) Ende des „Scolium generale“. Man beachte wohl am meisten unter allem was Newton da über die Gottheit sagt: „Totus est sui similis . . .; sed more minime humano . . ., more nobis prorsus incognito“ („Ganz sich selbst gleich, aber keineswegs menschlicher Art . . ., uns ganz und gar unbekannter Art"). Dies sollte am meisten mißverständliche Deutungen vermeiden helfen, welche gewisse sonstige Äußerungen Newton's bei denjenigen hervorgerufen haben, die nicht zu unterscheiden vermochten zwischen Worten, die aus Newton's eigenem, durch die Natur selbst in so hohem Maße belehrten Geiste kamen, und Worten, die er aus dem Studium des „Alten (und Neuen) Testaments" entnahm und wobei er dessen Deutung durch die Theologen offenbar viel mehr vertraute, als es heute, nach viel weiter vorgeschrittener historischer Erkenntnis, die Zusammensetzung dieser Schriften betreffend, einem Naturforscher möglich ist.

[2]) Dies geht besonders auch aus Newton's Briefen an Dr. Bentley hervor, einen Theologen, der in solchen Fragen an ihn sich wandte.

Es ist hier bemerkenswert, daß Newton's vollkommene Bescheidenheit dem großen Unbekannten gegenüber, zusammen mit der Erhabenheit dessen, was er ins Bekannte gefördert hat, bei der nächsten Generation durchaus keine entsprechende Gesinnung erzeugte, eher das Gegenteil. Man denke an die „Enzyklopädisten" (Diderot, D'Alembert u. a.) und auch Voltaire. Es liegt dies zu einem Teil offenbar daran, daß Newton den mathematischen und schriftstellerischen Begabungen (die beide unzweifelhaft weit häufiger auftreten als die Naturforscher-Begabung) sehr viel zu tun und auszuarbeiten gab, was durch seine eigenen Leistungen schon fest begründet war und was jenen hohes Ansehen verschaffte, während sie doch selber in ihrer Tätigkeit so gut wie außer Zusammenhang mit der Natur standen, die ob der Fülle des in ihr verborgenen Unbekannten den wahren Forscher stets bei Bescheidenheit hält. So konnte es kommen, daß von der Größe des durch Newton Geförderten zunächst in der Hauptsache Übermut übrig blieb. Außerdem aber war in dieser Zeit des „Aufklärichts", eben durch die mit Newton so plötzlich ein mächtiges Stück vorgeschrittene Naturerkenntnis wie plötzlich die Haltlosigkeit von vielem in den Geisteswissenschaften klar geworden, namentlich in der Theologie. Letztere hätte dem Volke Religion (= rückwärtige Verbindung mit der Geisterwelt) liefern sollen, wobei sie mangels Übereinstimmung mit der alleinheitlichen Wirklichkeit versagen mußte[1]), was eine allgemeine Entwurzelung der Geister zur Folge haben mußte. Die Entwurzelung ist auch bis heute noch nicht überwunden; sie hat den Stoffwahn (Materialismus) gezeitigt, der als Erfolge der Naturforschung vor allem Naturbeherrschung und Technik sieht und außerdem diese Erfolge nicht etwa zu Volkes Wohl, sondern als Nährboden von Gewinnsucht wirken läßt, sofern das nicht von einer Regierung geschickt verhindert wird.

Ehe es soweit kam — zum Zeitalter des Dampfes und dann der Elektrizität — hatten allerdings neu kommende Naturforscher, die wieder ganz bescheiden dachten, viel weiteres und ganz andersartiges Neues zu finden; aber es ist bemerkenswert und entspricht jener Entwurzelung, daß das eben gedachte Zeitalter des Aufklärichts, jedenfalls der Anfang desselben, zusammenfällt mit einem fast 100jährigen Stillstand in großen Fortschritten der Naturforschung. Es ist dies die Zeit vom Erscheinen der „Principia" Newton's (1686) bis zu Watt einerseits und Coulomb, Galvani und Volta andererseits, die (alle erst um 1780 und 1790) die neuen Grundlagen zur schon angedeuteten ganz neuartigen

[1]) Man bedenke allein nur, daß sowohl die Päpste als auch Luther Gegner wohlgegründeter Natur- (= Wirklichkeits-)Erkenntnis seit Kopernikus waren. Bezeichnend ist in diesem Zusammenhange auch, daß Diderot sowie Voltaire von Jesuiten erzogen waren.

Entwicklung schufen. Dazu bedurfte es indessen bemerkenswerterweise keineswegs etwa erst der Entwickelung neuer Hilfsmittel oder Hilfskenntnisse, sondern wieder nur des Sich-Einsetzens zu bescheiden-geduldiger Hingabe an die Natur. Dasselbe gilt auch von den Entdeckungen Scheele's, Priestley's und Cavendish's (in den Jahren 1770 und 1780), die die neue Chemie begründeten.

Einen besonderen, an sich hervorragenden Teil von Newton's Forschertätigkeit bilden seine Untersuchungen über die Farben des Lichtes. Hier zeigt er sich ganz als Experimentator, als Meister der Beobachtungskunst, der mit Linsen und Prisma überlegte Fragen an die Natur stellt. Für solche Tätigkeit in solchem Ausmaße und mit so umfassender, aufklärender Wirkung war, wenn auch in ganz anderer Richtung, bisher nur Guericke ein Beispiel gewesen.

Viel war schon von Euklid über Kepler bis Huygens über das Licht gefunden; aber das Wesen der Farbe, das Verhältnis des farbigen Lichtes zum weißen Licht, die Farbenentwicklung im Regenbogen, ja überhaupt alles, wobei nicht Licht schlechthin, sondern Farbe in Betracht kommt, war immer noch unverstanden geblieben. Man war geneigt, das weiße Licht, als das ursprünglich — wie von der Sonne — gegebene, als einfach in seiner Beschaffenheit, und das farbige Licht als zusammengesetzt anzusehen aus weißem Licht und einem färbenden Teil, der von dem farbigen Körper käme, welchen das weiße Licht getroffen hat. Newton ging von den Farben aus, die aus dem weißen Licht ohne Zuhilfenahme farbiger Körper entstehen, wie in den Wassertropfen des Regenbogens oder im farblosen Glasprisma, bei der Brechung des Lichtes. Indem er Versuch an Versuch in wohlausgedachter Weise und Schluß an Schluß reiht — wie es im I. Buch seiner „Opticks" (1704) zu lesen ist —, kommt er zum Nachweis der Zusammengesetztheit des weißen Lichtes und des Bestehens gewisser einfarbiger, nicht weiter zerlegbarer Lichter, wie sie der Regenbogen oder das Glasprisma von Rot über Gelb, Grün, Blau bis Violett nebeneinander zeigt, die im Gemisch das Weiß geben und im ursprünglichen weißen Licht auch schon gemischt enthalten sind. Bei der Brechung, wie im Wasser der Regentropfen oder im Glase, trennen sich die verschiedenen Farben — das „Spektrum" bildend —, und zwar trennen sie sich durch den ihnen eigenen verschiedenen Grad der Brechbarkeit. „Lichtstrahlen, die von verschiedener Farbe sind, sind auch von verschiedener Brechbarkeit" ist einer der Haupterfahrungssätze in Newton's „Opticks". Auf jeden solchen Satz folgt immer der „Beweis durch Versuche", meist durch ganze Reihen verschiedenartig abgeänderter Versuche, wie sie auch heute noch den Eingang zur wissenschaftlichen Optik bilden. Wichtig ist auch der Nachweis, daß die ge-

wöhnlichen farbigen Körper durchaus nicht Lichtstrahlen umfärben können, sondern daß sie nur auswählend wirken können, so daß z. B. rotes Papier nur die Eigenschaft hat, rotes Licht mehr zurückzuwerfen als die andersfarbigen Lichter, die es etwa gleichzeitig empfängt, nicht etwa aber grünes Licht rot zu machen. Würde also das Licht der Sonne einfarbig sein, etwa rot (wie es im Spektrum sich findet), so könnte eine andere Farbe überhaupt nicht erscheinen; alle Körper würden dann nur mehr oder weniger hell rot bis schwarz erscheinen können. Erst etwa 150 Jahre später sind in den „fluoreszierenden" und „phosphoreszierenden" Körpern durch Stokes[1]) Fälle nachgewiesen worden, die außerhalb des Gültigkeitsbereiches von Newton's Satz stehen; diese Körper vermögen das Licht tatsächlich umzufärben. Newton zeigt dann auch, daß alle Farbempfindungen, die dem Auge nur je begegnen, mittels Gemischen ausschließlich der reinen, im Spektrum von Rot bis Violett vorkommenden Farben hergestellt werden können; so z. B. ist Purpur ein Gemisch von Rot mit Violett. Er gibt auch schon eine Regel, den Farbenkreis, mittels der die Ergebnisse solcher Mischungen angenähert vorausgesagt werden können. Bemerkenswert ist, daß dabei auch schon erkannt wird, wie unvollkommen das Auge (ohne Zuhilfenahme des Prismas) in der Beurteilung von Farbenmischungen ist; so z. B. erscheint dem Auge „Weiß" durchaus nicht nur wenn alle Farben vorhanden sind, wie im gewöhnlichen weißen Licht, sondern es genügen auch weniger Farben, in geeignetem Verhältnis gemischt, zu ununterscheidbar demselben Eindruck „Weiß".

Diese von Newton so eingehend, klar und mit staunenswerter Vorsicht dargelegten Ergebnisse hatten lange ein eigentümliches Schicksal: sie stießen auf zum Teil heftigen Widerspruch. Am meisten ist wohl aus späteren Jahren Goethe's Hervortreten in seiner „Farbenlehre" in dieser Hinsicht bekannt geworden; aber auch sogleich nach Erscheinen von Newton's Veröffentlichungen wurden viel Einwände laut. Wie auch sonst oft in der Geschichte der Wissenschaft, gründlichen Arbeiten gegenüber, die Neues fördern, sind daran bloße Mißverständnisse schuld. Solche Mißverständnisse hängen häufig an „Schlagwörtern", bei deren Erklingen jeder genau zu wissen meint, was dabei zu denken sei, es aber doch nicht weiß. Ein solches übles Schlagwort ist „Farbe"; es kann mindestens dreierlei ganz verschiedene Dinge bedeuten. „Rot" z.B. kann bedeuten: 1. rotes Licht, d.i. den Lichtstrahl, der ins Auge fallend den Eindruck „Rot" hervorbringt; 2. kann „Rot" eben diesen Eindruck, die Farbenempfindung Rot bedeuten, also einen Vorgang in der wahrnehmenden Person; 3. kann „Rot" auch einen roten Farbstoff bedeuten, d.i. einen Stoff, der rotes Licht mehr reflektiert, beziehlich durch-

[1]) Lebte 1819—1903; war Professor der Physik in Cambridge.

läßt, als die anderen Lichter und der dadurch aus weißem Licht rotes macht. Es versteht sich, daß der Naturforscher, der die Natur des Lichtes ergründen will, wie Newton, das erste meinen wird, was übrigens Newton völlig klar auch ausspricht[1]); ebenso, daß der Mann der Kunst, wie Goethe, dem es in erster Linie auf den lebenden Menschen ankommt, bei „Farbe" an das Zweite denken wird – jedenfalls zumeist[2]) –; der Maler mag wohl zumeist das Dritte dabei denken. Mischt der Maler „Gelb" (z. B. Gummigutti) mit „Blau" (z. B. Berliner Blau), so erhält er „Grün". Gelbes und blaues Licht geben aber gemischt (ein mehr oder weniger reines) Weiß. Dieses so erhaltene weiße Licht hinwiederum ist zwar für das farbenempfindende Auge, also im obengedachten zweiten Sinne, durchaus nicht aber im ersten Sinne, identisch mit dem Weiß des Tageslichtes, indem letzteres Gemisch aller Farben (diese im I. Sinne gemeint) ist. Diese Beispiele mögen zeigen — zu weiterer Erläuterung ist hier nicht der Raum —, in welche Verwirrung man mit „Farbe" kommen kann, wenn man nicht, wie Newton in seiner „Opticks", von ausdrücklich hingestellter, scharf gefaßter Definition ausgeht.

Die Fragen der Farbe sind heute durch Newton's Vorgehen sämtlich auf feste Grundlage gestellt. Es geschah das durch Beobachtungen bei Versuchen, die teilweise nicht einmal ganz neu waren[3]), an die aber Newton vorher nicht erfaßte Schlüsse von allgemeiner Tragweite knüpft, wodurch er eben zu den wertvollen Erkenntnissen gelangt. Man wird aus dem vorher Bemerkten die Wirrnis ersehen haben, in welche Newton da hineinleuchtete. Daß dies von Newton's Zeitgenossen,

[1]) „Opticks", I. Buch, Teil 2, Prop. 2, „Definition".

[2]) Man macht beim Lesen von Goethe's „Farbenlehre" die Bemerkung, daß es ihm nicht gelungen ist, zu erfassen, was Newton unter „Farbe" versteht. Goethe kommt vom Farben-Eindruck nicht los, und er kommt daher auch nicht zur Einsicht, daß zum Eindringen in die vorliegenden Fragen jedenfalls vorerst das nach Möglichkeit untersucht sein müsse, was den Eindruck hervorbringt, das ist eben das Licht selbst, das, was im Strahle den Raum durchzieht und was Eigenschaften besitzt, die ganz unabhängig vom etwaigen Vorhandensein eines wahrnehmenden Auges sind. Eben dies ist Newton's Untersuchungsgegenstand. Die Naturforschung kann immer nur vom Einfacheren zum Verwickelteren fortschreiten, nicht umgekehrt. Es ist aus vielem, was Goethe in seiner „Farbenlehre" sagt, vollkommen klar, daß es verkehrt ist, ihn als Naturforscher zu bezeichnen; er war großer Naturfreund, Naturschauer, und das ist nicht wenig, wenn man es wie Goethe sein kann.

[3]) Schon Markus Marci in Prag hatte um 1648 Versuche mit Prismen und Linsen beschrieben, die denen Newton's zum Teil ähnlich waren, ohne aber zu klar hinstellbaren, einheitlichen Ergebnissen zu kommen, auf die man weiteres hätte bauen können; es schien ihm allerdings auch die wichtige Kenntnis von Snell's Lichtbrechungsgesetz zu fehlen (vgl. Mach, „Physikalische Optik", 1921, S. 119ff.).

und teilweise auch viel später noch, nicht erkannt und also auch nicht anerkannt wurde, hat Newton sehr viel Unbehagen verursacht, das soweit ging, daß er zeitweilig sogar auf wissenschaftliche Betätigung verzichten wollte[1]). Denn die „Royal Society" (Königliche Gesellschaft), welcher er zuerst seine Ergebnisse mitteilte, erforderte in jedem Falle ein Eingehen auf Einwände und Gegenäußerungen, die ihr zukamen, was reichlich der Fall war, und es war für Newton meist sehr viel mühevoller, die Gedankengänge der „Gegner" zu entwirren, als Neues aus der Natur selbst zu fördern. Überblickt man heute die so entstandene Literatur, so hat man aufs Bestimmteste den Eindruck von deren vollkommener Nutzlosigkeit; es sind keine neuen Erkenntnisse daraus hervorgegangen. Man sieht daraus auch wieder deutlich, daß große Fortschritte nur von einzelnen Persönlichkeiten kommen, nicht aber von Gesellschaften, bestünden sie auch aus im allgemeinen noch so vortrefflichen Leuten. Solche Gesellschaften sollten demnach ihre Aufgabe ausschließlich darin sehen, jene Einzelnen, allzu Seltenen, die als Fortschrittbringer in irgendeiner Richtung sich zu erkennen geben, zu beschützen und zu fördern.

Es waren aber nicht nur die Fragen der Farbe, welche Newton in für ihn — seinem Empfinden nach — peinliche Verwickelungen brachten, sondern außerdem auch noch die Frage nach der Natur des Lichtes überhaupt. Newton hatte eingehende Untersuchungen auch über die besonderen Farben angestellt, welche „dünne Blättchen", wie Seifenblasen oder auch die Luftschichten zwischen zwei aufeinander gepreßten Gläsern zeigen, und er hat auch hierin Grundlegendes gefördert. Die farbigen Ringe, welche man unter einer gewöhnlichen Linse sieht, die auf eine ebene Glasplatte gelegt ist, sind seither als „Newton's Ringe" wohlbekannt. Bei der zusammenfassenden Beschreibung der Erscheinungen schließt er, daß längs eines Lichtstrahles periodisch wechselnde, verschieden geartete Zustände sich finden, die er als Zustände leichter Reflektierbarkeit beziehlich leichter Brechbarkeit auffaßt, und er kann die sehr kleinen Abstände dieser Zustände ausmessen und findet sie für rotes Licht am größten, für violettes am kleinsten. Dies ist im Grunde die Erkenntnis, welche er aus den Beobachtungen in vielfach abgeänderten Versuchen entnimmt. Er sagt hierzu: „Welcher Art diese Zustände seien, ob sie einer rotierenden oder einer schwingenden Bewegung des Strahles oder des Mediums zugehören, untersuche ich hier nicht"[2]). Weiteres konnte mit Sicherheit in der Tat erst mittels ganz neu-

---

[1]) Er bedauert in einem aus dem oben weiter Folgenden ersichtlichen Zusammenhange in einem Briefe, im Jahre 1672, „ein so wesentliches Glück wie meine Ruhe aufgeopfert zu haben, um nach einem Schatten zu jagen".

[2]) „Opticks", 2. Buch, Teil 3, Prop. 12.

artiger Versuche 130 Jahre später durch Fresnel ergründet werden. Newton vermeidet mit Vorsicht jedes Eingehen auf Fragen, die mit einer umfassenden, übersichtlichen Beschreibung der von ihm beobachteten Erscheinungen nicht unmittelbar zu tun haben. Er „stellt" besonders auch keine „Theorie des Lichtes" auf. Solche „Aufstellung" ist, ganz abweichend von dem, was Newton auch in seiner 2. Auflage der „Opticks" 1717 selbst sagt, ja sogar im Gegensatz dazu, als landläufige Behauptung vielfach bis heute anzutreffen. Nicht einmal bestimmte Hypothesen über die Natur des Lichtes stellt er hin. Er sagt am Anfange des I. Buches seiner „Opticks": „Meine Absicht in diesem Buche ist nicht, die Eigenschaften des Lichtes durch Hypothesen zu erklären, sondern dieselben nach Überlegungen und Beobachtungen hinzustellen und zu beweisen." Im 2. Buch, wo besonders die „Farben dünner Blättchen" behandelt werden, teilt er vor allem 24 Versuchsreihen mit, um daran „Bemerkungen" und „Analogien" zu knüpfen, worauf noch 13 verwandte Beobachtungen folgen. Im 3. Buche, das er in der Vorrede ausdrücklich als unvollendet erklärt hat, bringt er noch andere, später wichtig gewordene Beobachtungen bei, über Beugung des Lichts, und er schließt mit 31 „Fragen" über allerlei Gegenstände, die ihm erwägenswert schienen. Daß man bei dieser Sachlage dennoch auch heute noch so oft in Lehrbüchern am Eingange der Optik als historische Hauptbemerkung einen „Streit" zwischen der „Emissions- oder Emanations-Theorie oder Hypothese Newton's" und der „Undulations- oder Vibrations-Theorie oder Hypothese von Huygens" hingestellt findet, dies muß durchaus der geringen Auffassungsgabe der Zeitgenossen Newton's und Huygens', aber auch der Achtlosigkeit der Nachfahren zugeschrieben werden, die jene Großen wohl allzumeist aus zweiter Hand und nach Rechthabereien kennenlernten, die von fremdher beigemischt waren. Denn auch Huygens suchte nur Tatsachen zusammenzubringen, so viele als möglich, welche geeignet schienen, zu einer Einsicht in die Natur des Lichtes zu führen, und dies ist auch ganz allgemein die Art, wie Naturerkenntnis allmählich entsteht. Sie ist nie gefördert worden durch bloßes Gegeneinanderhalten verschiedener Vermutungen, sondern stets nur durch Beibringen neuer Tatsachen aus geeigneten Versuchen und Beobachtungen. Aber freilich, enge Geister vermögen nicht die lebendigen Tatsachen sich vor Augen zu halten, sie vermögen auch nicht die Wissenschaft als etwas stets im weiteren Fortschreiten Begriffenes zu erkennen; sie haben daher für sich das Bedürfnis des Schematisierens des bereits Bekannten, wobei dasselbe allzuleicht in nicht zur Sache gehöriger Einseitigkeit erstarrt. Sie sollten aber diese Denkweise nicht den großen Forschern zuschreiben, die sie so offensichtlich nicht besaßen, und sie sollten nicht das Wesentliche im Fortschreiten der Erkenntnis ver-

decken durch Hervorhebung von „Streitfragen", die doch stets nur fruchtlos waren, weil sie auf ein „Entweder-Oder" (ein „tertium non datur") hinauslaufen, das der Natur ganz unangemessen ist. Im Falle des Lichtes hat sich letzteres beim Hinzukommen späterer (zum Teil ziemlich neuer) Erkenntnis daran gezeigt, daß das Licht wohl der von Huygens schon ungefähr vorgestellte Wellenvorgang im Äther ist — was aber auch die von Newton dunkel gefundenen wechselnden Zustände im Strahl einschließt —, jedoch mit erstaunlichen, unerwarteten Einzelheiten (nämlich querschwingend und elektromagnetisch, nicht — wie von Huygens probeweise gedacht — längsschwingend und elastisch), daß dies aber durchaus nicht der (an einigen Stellen bei Newton geäußerten) schon alten Vorstellung eines mit Lichtgeschwindigkeit geschleuderten Etwas widerspricht, indem jede Welle laufende Energie ist und Energie immer sogar auch Masse (Trägheit und auch Schwere) besitzt, ganz ebensogut wie irgend ein materieller Körper. Wieviel wunderbarer ist doch stets die Natur, als je vor der Erkenntnis vermutet worden war! Die großen Forscher hatten alle Empfindung hierfür gehabt; man merkt das beim Lesen ihrer Werke. Aber die meisten, gewöhnlichen Darsteller können ihnen freilich nicht gerecht werden.

Newton's äußeres Leben ist schnell erzählt[1]). Er war gut aufgehoben in England. Er wuchs bei seiner Mutter und Großmutter auf, da der Vater vor seiner Geburt verstorben war. Bei der Besorgung des Landgutes der Familie mitzuwirken, zeigte er sich ungeeignet; aber auch die Schule wußte nicht viel mit ihm anzufangen. Welches Glück, daß er dennoch, anscheinend schlecht vorbereitet, mit 18 Jahren die Universität Cambridge beziehen durfte. Seine ursprünglichen Neigungen zu mechanischen Beschäftigungen[2]), zum Zeichnen und zum Bücherlesen entwickelten sich dort besonders in mathematischen Studien schnell nach der Richtung, in welcher dann seine Lebensleistungen lagen. Er machte für sich Bearbeitungen aus Des Cartes' Geometrie und aus Kepler's Werken; Euklid erschien ihm bald als selbstverständlich. In diese frühe Zeit fallen auch schon seine eigenen ersten Versuche mit dem Prisma über die Natur der Farben, seine ersten Gedanken über Gravitation und der Anfang zur Fluxionsrechnung, was alles bis etwa zum Jahre 1666 zurückverfolgbar ist und von da an allmählich weiter sich entwickelte. Seine Mitteilungen hierüber an seine Universitätslehrer[3])

[1]) Eine ausführliche Lebensbeschreibung ist erschienen von D. Brewster; deutsch herausgegeben von Brandes, Leipzig 1833.

[2]) Es wird von allerlei Mechanismen berichtet, die er verfertigte, die aber später wohl alle verloren gingen.

[3]) Schon 1669 wurde auch weiteren Kreisen Mitteilung über die Anfänge der Fluxionsrechnung gemacht, später in Briefen auch von Newton selbst (so

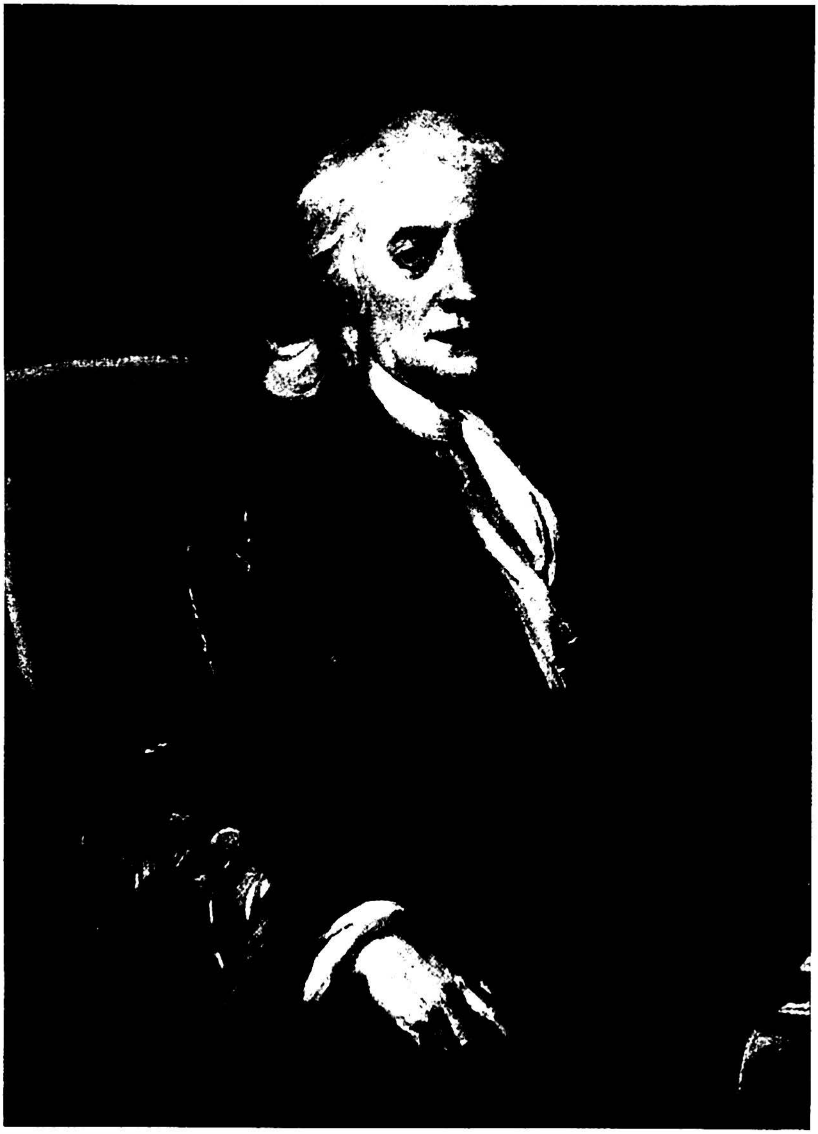
hatten zur Folge, daß er bereits im Jahre 1669, mit 27 Jahren, Nachfolger eines derselben und somit Professor der Mathematik an der Universität Cambridge wurde. In dieser Stellung blieb er bis 1695 tätig, und in diesen, bis zu seinem 52. Lebensjahr reichenden Zeitraum fällt der Ausbau und die Vollendung all der Leistungen, die wir oben schon dargestellt haben. Gleich zu Anfang hielt er auch Vorlesungen über seine optischen Entdeckungen. Als eine Folgerung aus denselben beschäftigte Newton damals auch der Gedanke, daß die mit der Lichtbrechung verbundene Farbenzerstreuung dem Bau verbesserter Fernrohre mit Linsen hinderlich sein würde, und dies veranlaßte ihn schon 1668 ein erstes Spiegel-Teleskop zu bauen. Dasselbe erregte allgemeines Aufsehen, so daß es nach Prüfung von der „Royal Society" und nachdem eine Beschreibung desselben an Huygens geschickt war, auch dem Könige (Karl II., aus dem Hause Stuart), gezeigt wurde[1]). Der Ruf des Fernrohres war es auch, der bald (1672) seine Aufnahme als Mitglied in die „Royal Society" bewirkte, mit der er dann durch sein ganzes Leben eng verbunden blieb.

Die ebenfalls schon 1666 begonnenen Überlegungen Newton's über die Bewegungen im Planetensystem führten ihn auf Grund von Kepler's Gesetzen sehr bald zur Annahme einer von der Sonne ausgehenden, dem Entfernungsquadrat verkehrt proportionalen Kraftwirkung. Eine ebensolche Kraftwirkung müßte dann auch von der Erde ausgehen und deren Mond in seiner Bahn halten, und diese Kraft könnte — wenn alles aufs einfachste sich verhält und nicht noch weiteres mitwirkt — sogar dasselbe sein wie die nach Maßgabe des Entfernungsquadrates abgeschwächte, gewöhnliche Schwerkraft der Erde. Es war eine der wichtigsten Prüfungsmöglichkeiten für diesen Gedanken der allgemeinen Gravitation, zu sehen, ob letzteres nach Maßgabe des Erdhalbmessers und des Halbmessers der Mondbahn zahlenmäßig stimmt, wobei allerdings vorher festzustellen war, daß vom Erdmittelpunkt aus zu rechnen sei, wenn es zutrifft, daß die Gravitation durch die ganze Erdkugel auch von den entferntesten Teilen derselben her ungeschwächt hindurch wirkt. Nach der damaligen Kenntnis über die Größe des Erdhalbmessers war die Übereinstimmung nur roh und schlecht, und dies veranlaßte Newton, diese Gedanken beiseite zu setzen und ganz seinen optischen und mathematischen Studien sich zu widmen. Erst im Jahre 1679 nahm er die Himmelsmechanik von neuem und von da an mit

---

1679 an Leibniz — s. die Vorrede zu „Opticks"); eine vollständige Veröffentlichung über die Fluxionsrechnung erfolgte erst 1736 nach Newton's Tode.

[1]) Dieses Fernrohr, oder anscheinend ein zweites ebenfalls von Newton selbst gebautes, wird in der Bibliothek der „Royal Society" noch sorgfältig aufbewahrt; es trägt die Jahreszahl 1671.



Isaac Newton

Aus den letzten Lebensjahren.

wichtige Dienste. Die Umprägung der Münzen wurde in zwei Jahren vollendet, worauf Newton zum Münzmeister ernannt wurde, welche Stellung er für seine übrige Lebenszeit behielt. In der Cambridger Professur konnte er sich inzwischen vertreten lassen, bis er sie im Jahre 1703 aufgab. Die Muße, welche ihm die Münzmeistertätigkeit übrig ließ, benutzte er zur Leitung der Neuherausgaben seiner Werke und zu historischen Studien, die er aber nicht zur Veröffentlichung bestimmte[1]); auch blieb er stets an der Tätigkeit der „Royal Society" beteiligt, deren Präsident er von 1703 an bis zu seinem Tode war.

Newton war der erste große, umfassende Naturforscher im Laufe der Geschichte, dem das Alter keine Beeinträchtigungen infolge seiner im Leben zutage getretenen Überzeugungen brachte. Waren ihm auch noch manche Kämpfe auferlegt, da an dem frühen und ihm ganz eigenen Entstehen seiner Fluxionsrechnung Zweifel auftauchten, die er als wahrheitswidrig keineswegs gelten lassen wollte, so war ihm doch auch hierbei in seinem Lande alles zu Diensten, und es war ihm als Münzmeister ein behagliches Alter bereitet. Sein Hauswesen wurde — da er selbst keine Familie gründete — von seiner verheirateten Nichte geführt; er hielt sich einen Wagen und eine Bedienung von drei männlichen und drei weiblichen Personen. Er war gastlich und wohlwollend, und große Freigebigkeit war seine Freude.

Körperlich sei Newton nicht über mittlerer Größe gewesen, im Alter ein wenig beleibt. Langes, gewelltes, bis zuletzt reiches, silberweißes Haar zierte ihn auch ohne Perücke. Das Original unseres Bildes 18[2]) zeigt blaue Augenfarbe.

Vom 80. Lebensjahre an stellten sich körperliche Beschwerden ein. Er starb 85 Jahre alt und wurde mit allen Ehren, gleich einem der Größten seines Landes, in der Westminster-Abtei begraben, wo ein würdiges Denkmal mit sinnvoller Inschrift seinem Andenken geweiht ist.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646—1716)
und
Dionysius Papin (1647—1712).

Leibnizens Persönlichkeit und Leben kann hier nicht in der Vollständigkeit gewürdigt werden, wie es für Guericke oder Newton geschehen ist, soviel Ähnlichkeit er auch mit diesen hat, weil seine Verdienste als Naturforscher in der Hauptsache mittelbar sind, indem sie die

[1]) Solche Studien kamen zu einem Teile schon während seiner Lebenszeit gegen seinen Willen zum Druck; in größerem Umfange wurden sie nach seinem Tode herausgegeben.

[2]) In der National Portrait Gallery in London.

große Hilfe der Naturforschung betreffen, die Mathematik. Er ist der Ausbauer der Fluxions- oder Infinitesimal-Rechnung; er hat diese für das Nachspüren der Naturvorgänge eigens geschaffene, grundlegend wichtig gewordene Rechenweise mit den unendlich kleinen Größen in die Verfassung gebracht und ihr die Formen gegeben, die sie dann bis heute als voll angemessen bewahrt hat. In dieser mathematischen Leistung liegt seine Verwandtschaft mit Newton; mit Guericke ist er verwandt durch sein umfassendes vaterländisches Wirken[1]). Das letztere war für ihn, wie für Guericke, bestimmend für sein äußeres Leben, für seine Unternehmungen und vielfältigen Reisen.

Leibniz war in Leipzig geboren; sein Vater, den er aber schon mit sechs Jahren verlor, war Professor der Moral an der dortigen Universität und zugleich Notar. In jüngsten Jahren begann er bereits aus der Bücherei seines Vaters, dem Latein der Schule weit vorauseilend, die alten Historiker und Klassiker mit großem Genuß zu lesen, und mit 15 Jahren bezog er die Universität seiner Vaterstadt. Hier und dann zeitweilig auch in Jena wandte er sich anfänglich auch der Mathematik zu; Des Cartes und Euklid waren dabei seine Studien; doch entschied er sich bald für die praktische Rechtskunde als Lebensberuf. Mit 19 Jahren erwarb er den juristischen Doktorgrad, und zwar in Altdorf bei Nürnberg, da man ihm bei solcher Jugend in Leipzig Schwierigkeiten machte. Er war wie zur Schulzeit so auch an den Universitäten vor allem durch eigenes Denken, an der Hand sehr sorgfältig von ihm ausgewählter Bücher, in fast allem, was damals Wissenschaft hieß, vorangekommen, und zwar stets schnell soweit, daß er stellenweise die Grenzen des vorhandenen Wissens oder Erkennens selbsttätig zu überschreiten vermochte, und er schätzte nichts höher, als die Möglichkeit und Freiheit zu solchem Vorgehen, entgegen dem öfter gehörten Rate, daß es nicht passe, Neues zu unternehmen in Dingen, die man noch nicht hinlänglich betrieben habe.

Durch eine Schrift über Reformen in der Rechtslehre erregte er die Aufmerksamkeit des Kurfürsten von Mainz, der ihn 1668 zu juristischen Arbeiten berief, worauf er durch außerordentliche Vielseitigkeit und Arbeitsfähigkeit alsbald zu immer höheren Verwendungen im Staatsdienst aufstieg. Er wird aus dieser Zeit, 24jährig, von einem seiner Gönner empfehlend beschrieben, als „gelehrt über alles was sich nur sagen oder glauben läßt; . . . arbeitsam und feurig; in der Religion selbständig, übrigens ein Mitglied der lutherischen Kirche"[2]). Freilich war Staats-

[1]) Letzteres wird eingehend dargestellt in Pfleiderers Werk, „G. W. Leibniz als Patriot, Staatsmann und Bildungsträger; ein Lichtpunkt aus Deutschlands trübster Zeit". Leipzig 1870.

[2]) Siehe, auch im übrigen, Guhrauer's Biographie von G. W. Leibniz, Breslau 1842.

dienst damals Kleinstaatsdienst in Deutschland; aber Leibniz erfaßte von selber höhere Pläne. Er wollte Ludwig XIV., der damals bereits Straßburg zu nehmen sich anschickte, von Deutschland gründlich fernhalten und arbeitete zu diesem Ende im Geheimen eine Denkschrift für den Gewaltigen aus, die ihm den Gedanken der Eroberung Ägyptens einleuchtend machen sollte. Die Denkschrift sollte in Paris überreicht werden, was Leibniz, mit guten Empfehlungen versehen, als Mainzischer Rat im Jahre 1672 auch ausführte, freilich ohne den gewünschten Erfolg. Bei dieser Gelegenheit fand sich Leibniz in die angesehensten Pariser Kreise eingeführt, wozu wohl auch seine veröffentlichten Schriften verschiedenen Inhalts beigetragen haben dürften. Hier lernte er auch Huygens kennen, was schon längst sein Wunsch gewesen war; im übrigen begrub er sich, nach eigener Äußerung, in den Bibliotheken. Dabei lernte er eine von Pascal erfundene Rechenmaschine kennen, die aber nur addierte und subtrahierte, und vervollkommnete sie (wohl nach teilweise schon früher gefaßten Gedanken) sogleich zur Ausführung von Multiplikationen und Divisionen einschließlich des Ziehens der 3. Wurzel. Die Maschine wurde mit Unterstützung des Ministers Colbert in Paris ausgeführt und erhielt die Anerkennung der Akademie; ihre Einrichtung gab das Vorbild zur Weiterentwicklung bis zu den heutigen Rechenmaschinen. Im nächsten Jahr, 1673, begab sich Leibniz zum ersten Mal nach London. Dort war er durch den Sekretär der „Royal Society" (Oldenburg, geboren in Bremen) schnell in die Kreise der Gesellschaft eingeführt, der er auch seine von Paris mitgebrachte Rechenmaschine vorführen konnte. Boyle, eines der ältesten Mitglieder, gab Leibniz besondere Gelegenheit zum Gedankenaustausch mit den Mathematikern der Gesellschaft, wobei seine außerordentliche Begabung, trotz seiner eigenen sehr bescheidenen Äußerungen (auch schriftlich an Oldenburg) über seine derzeitige noch mangelhafte mathematische Ausbildung, richtig eingeschätzt worden zu sein scheint; denn er wurde alsbald zum Mitglied der Gesellschaft ernannt. Ein Jahr zuvor war Newton Mitglied geworden. Nach zweimonatigem Aufenthalt in London kehrte Leibniz wieder nach Paris zurück, wo er nun 3 Jahre lang blieb. Dort trieb er eingehende mathematische Studien, wobei er sich besonders der Hilfe von Huygens erfreute, dessen damals eben erschienenes „Horologium oscillatorium" sein besonderes Studium bildete. Auch mit der Londoner „Royal Society" pflegte er brieflich Gedankenaustausch in mathematischen Fragen. So bewegte sich Leibniz mitten in jenen Kreisen, die alle Gedanken der damaligen Zeit über die durch die Fortschritte der Naturforschung seit Galilei gegebene Erforderlichkeit des Rechnens mit unendlich kleinen Größen, ja über Wege dazu (Newton besaß sogar schon einen Weg in seiner Fluxionsrechnung seit etwa 10 Jahren) in ihren

hervorragendsten Vertretern vereinten. Es ist gewiß bezeichnend für Leibnizens ganz außerordentliche Fähigkeit des Erfassens von Allerwesentlichstem und des sofortigen Vordringens zu Neuem in allen Gegenständen, die er ergriff, wie wenig eingehend sie ihn auch vorher beschäftigt haben mochten, wenn wir aus den damaligen Briefwechseln



Bild 19. Gottfried Wilhelm Leibniz.

sehen, daß er am Ende seines Pariser Aufenthaltes, im Jahre 1676, bereits im Besitze der voll durchgebildeten neuen Rechnungsart war, die er Differential-Rechnung nannte, ohne daß von irgendeiner Seite her damals etwas ähnliches veröffentlicht sich vorgefunden hätte. Auch Leibniz begnügte sich damals (wie schon vorher Newton und wie es zu jener Zeit überhaupt unter Gelehrten vielfach üblich war) mit Mitteilungen in engeren Kreisen, nach London und selbstverständlich in Paris; seine erste gedruckte Veröffentlichung über die Differential-Rech-

nung, „Neue Methode der Maxima, Minima sowie der Tangenten, die sich weder an gebrochenen noch an irrationalen Größen stößt, sowie eine eigentümliche, darauf bezügliche Rechnungsart", erschien 1684. Es wird darin zum ersten Mal die dann schnell allgemein gebräuchlich gewordene Bezeichnungsweise der unendlich kleinen Größen (Differentiale) eingeführt und es werden die Regeln der Differentiation entwickelt, was alles zu den Grundkenntnissen der heutigen „Höheren Mathematik" gehört. An dieser Bezeichnungsweise hing die leichte Anwendbarkeit der neuen Rechnungsart. Leibniz sagt selbst hierüber in einem Briefe von 1678, daß die Bezeichnungen der Mathematik am meisten förderlich sind, „so oft sie die innerste Natur der Sache mit Wenigem ausdrücken und gleichsam abbilden". „So wird nämlich auf wunderbare Weise die Denkarbeit vermindert". In der Tat ist die Mathematik, soweit sie der Naturforschung zu dienen hat, dazu bestimmt, die Denkarbeit ganz dem Auffinden der „innersten Natur der Sache" zugewendet zu erhalten und dann den Fund so „abzubilden", daß er vermöge der Rechenregeln, getreu und unverfälscht bewahrt, beliebig vielfältige Formen annehmen kann, die für die Anwendung in verwickelten Fällen erforderlich sind[1]).

In der Verfolgung seiner mathematischen Errungenschaften war Leibniz bald unterbrochen durch den Wiedereintritt in regere staatsmännische Tätigkeit. Der Kurfürst von Mainz, in dessen Diensten Leibniz bisher war, war schon im Jahre 1673 verstorben. Drei Jahre später nahm Leibniz eine Berufung an den Hof des Herzogs Johann Friedrich von Hannover an, mit dem er schon längere Zeit in Briefwechsel stand, und dies beendete seinen Pariser Aufenthalt. Die Rückreise nach Deutschland nahm er über England und Holland. In London, wo er nur eine Woche lang verweilte, erhielt er Einsicht in die Niederschriften Newton's, die auch Einiges über die Fluxionsrechnung enthielten. Es war dies noch vor seiner ersten Veröffentlichung über den Gegenstand, und es ist auch hiernach nicht zu bezweifeln, daß Leibniz nicht unabhängig von Newton arbeitete, der zuerst die Gedanken des Rechnens mit unendlich kleinen Größen ergriffen hatte; ebenso ist es aber auch klar, daß diese Gedanken sowohl in den Äußerungen Newton's wie in denen Leibnizens allmählich Vielen zugänglich geworden waren, und daß doch keiner außer diesen Beiden sie zu etwas Bleibendem zu

[1]) Es kommt bei neueren Anwendungen der Mathematik vor, daß Denkarbeit nicht so sehr zur Auffindung des tatsächlichen Verhaltens der Natur aufgewendet worden ist, sondern vielmehr zu willkürlichen Eingriffen in den Lauf der Rechnungen, wodurch „die Abbildung der innersten Natur der Sache" nur gefälscht wird. Dies ist offenbar Mißbrauch des Segens, der „Verminderung der Denkarbeit", da das Ersparte an verderblicher Stelle zur Anwendung gelangt. (Vgl. dazu „Deutsche Physik", Bd. I, Einleitung, Abs. 15.

fassen vermochte, sowie ganz besonders auch daß nur Leibniz ihnen die schließlich bewährte, aller Anwendung so günstige Formung gab.

Am Hannoverschen Hofe war Leibniz zuerst als Bibliothekar und mit dem Auftrage der Niederschrift der Geschichte des Fürstenhauses tätig; bald wurde er außerdem in höheren Gerichts- und Staatsangelegenheiten beigezogen. Neben diesen Tätigkeiten und der Pflege vielseitiger sonstiger Interessen ließ er in dieser Zeit noch eine Reihe sehr belangreicher mathematischer Abhandlungen erscheinen, die weitere Entwicklungen und Anwendungen der Differential-Rechnung betrafen.

Die letzte Lebenszeit Leibnizens brachte ihm wenig Erfreuliches. Wohl konnte er die Anfänge schneller Anwendung und Fortentwicklung der Differential-Rechnung noch erleben; jedoch seine Verdienste hierbei wurden zu seiner Lebenszeit nicht anerkannt. Wohl schien es eine Zeitlang, als sollte ihm sogar das Hauptverdienst zugesprochen werden, da er in seiner Veröffentlichung der Förderungen nicht gedachte, die er außer von Huygens besonders auch in den Kreisen der Royal Society empfangen hatte, während Newton es öffentlich anerkannte[1]), daß Leibniz ihn im Briefwechsel bereits im Jahre 1676 Mitteilungen von der Beschaffenheit und Tragweite seiner Rechnungsart gemacht habe. Doch wendete sich dies bald in das Gegenteil, da die Royal Society alles Verdienst für den ersten Urheber, Newton, in Anspruch nahm. Solche Urteilsfällungen von Zeitgenossen müssen freilich notwendigerweise auf die Meinung Unbeteiligter, d. i. von Personen zurückgehen, die selbst die Entdeckung oder Erfindung nicht nur nicht gemacht haben, sondern die ihr sogar fernstehen, jedenfalls die Entwicklung der betreffenden Gedanken nicht mitgemacht haben, die dann aber auch nicht befähigt sein können zu urteilen. Daraus ergibt sich, daß die Urteilsfällungen der Zeitgenossen über Verdienste an großen Fortschritten immer wertlos sein müssen, um so mehr, als allein schon die Erkenntnis dessen, worauf es bei solchen Leistungen ankomme und was ihre Gediegenheit und daher ihren Wert ausmache, überhaupt nur den wenigen aus innerer Erfahrung zugänglich ist, die selbst in die Reihe der großen Forscher gehören. Die Nachwelt vermag leichter ein treffendes Urteil abzugeben; sie besitzt und beherrscht schon die Gedanken, deren Ursprung beurteilt werden soll, und es stehen ihr auch vollständiger die Mittel zur Verfügung, alle Fäden, die zum Ursprung führen, zurück zu verfolgen. Wohl aber sollten die Zeitgenossen den Lebenden nach seiner Art und Betätigungsweise richtig einschätzen und besondere Befähigung an ungewöhnlichen Leistungen erkennen können, wobei allerdings immer nur

[1]) „Principia", Liber II, Sektio II, Lemma II, Scolium (1686, zwei Jahre nach Leibnizens erster Veröffentlichung über die Differential-Rechnung).

zwischen Menschen gleicher Art (Abstammung) ein sinnvolles Urteil möglich ist. Eben deshalb sollte und könnte treffenderweise Jeder zunächst in seinem eigenen Volke gebührende Beachtung finden. Eben dieses war bei Leibniz nicht der Fall. Wohl stand er in seinen jüngeren Jahren hoch in Ansehen bei nicht wenigen deutschen Fürsten, deren manche ihm sogar befreundet waren; aber als diese seine fürstlichen Gönner, denen er mit Liebe und Hingebung gedient hatte, verstorben waren, fand er wenig Beachtung, ja sogar zuletzt Zurücksetzung beim Nachfolger (Georg von Hannover, der 1714 König von England wurde), und er starb vereinsamt, nur betreut von seinem Sekretär, im Alter von 70 Jahren. Erst mehr als 50 Jahre nach seinem Tode wurde seine Grabstätte in der Hofkirche zu Hannover durch eine passende Inschrift auffindbar gemacht.

Im Äußeren wird Leibniz als von mittlerer Größe, etwas gebückter Haltung, breiten Schultern, doch mager, beschrieben. Seine Haarfarbe war sehr dunkel.

Leibnizens vielfache Reisen, seine Beziehungen zu den Fürsten, seine große Vielseitigkeit und sein ausgedehnter Briefwechsel machten ihn im wissenschaftlichen Leben seiner Zeit einflußreich. So wurde er im Jahre 1700 zum Gründer der Berliner Akademie. Sein Briefwechsel, besonders mit Papin, zeigt ihn auch in mehreren Beziehungen an Erfindungen beteiligt, die erst später ausführbar wurden, so mit dem Vorschlag eines Barometers ohne Quecksilber mit einem ausgepumpten, biegsamen, durch Federkraft im Gleichgewicht mit dem Luftdruck gehaltenen Gefäß, dem heutigen Aneroidbarometer, und in bezug auf die Dampfmaschine, wovon das Folgende handelt.

Dionysius Papin, der erste von dem eine Dampfmaschine mit Zylinder und Kolben geplant und ins Werk gesetzt worden ist, wurde geboren in Blois (südlich von Paris) und studierte Medizin. Mit 24 Jahren zog er nach Paris, wo er Huygens kennen lernte, dem er sich anschloß, was ihn dann auch mit Leibniz zusammenführte, mit dem er auch später noch in zu Zeiten lebhaftem Briefwechsel Gedankenaustausch pflegte[1]). Huygens war damals mit Luftpumpenversuchen beschäftigt (er führte dabei auch den dann immer beibehaltenen Teller mit dem bequem dicht aufzusetzenden Glasrezipienten ein), wobei Papin als sehr begabter und geschickter Experimentator sich erwies. Guericke's damals eben erschienenes Werk über die „Magdeburgischen Versuche" brachte die großen Kräfte des Luftdrucks in den Gedankenkreis aller Forscher, und Huygens hatte damals eine Maschine angegeben, die mittels Luftdrucks das Wasser der Seine für Ludwigs XIV. Wasser-

[1]) Siehe „Leibnizens und Huygens' Briefwechsel mit Papin, nebst der Biographie Papins" von E. Gerland, Berlin 1881.

künste pumpen sollte. Papin verwirklichte die Maschine und führte sie im Jahre 1674 dem Minister Colbert vor. Sie bestand aus einem Zylinder mit Kolben; dieser wurde durch etwas auf den Boden des Zylinders gebrachtes Schießpulver zuerst hochgefeuert, wobei die überschüssigen Verbrennungsgase durch Ventile am oberen Ende des Zylinders entwichen; dann, nach Abkühlung der Gase, trieb der Luftdruck den Kolben herunter, wobei er über eine Rolle mit Seil an der Wasserpumpe arbeitete. Es mußte dann für jeden Hub von neuem Pulver durch ein kleines Loch unten am Zylinder eingebracht und entzündet werden[1]).

Wohl durch Leibniz war Boyle in England auf Papin aufmerksam gemacht worden und berief ihn im Jahre 1675 dahin; er sollte ihm bei seinen Luftpumpenversuchen und auch sonst behilflich sein. Dies führte Papin in solcher Weise aus, daß er nach 5 Jahren auf Boyle's Vorschlag zum Mitglied der Royal Society ernannt wurde, wobei er eine Veröffentlichung über den kurz vorher von ihm erfundenen „Digestor" (als „Papin'scher Topf" noch heute zum Fleischkochen unter erhöhtem Druck bekannt) vorlegte. Hierbei führt Papin auch das Sicherheitsventil ein, das verschieden große Drucke zu begrenzen gestattet und das heute an keinem Dampfkessel fehlt. Auch stellt er die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck fest, wenn auch dabei damals die Temperaturen nur nach der Verdampfungszeit einer außen in eine Höhlung des Deckels des Topfes gebrachten Wassermenge beurteilt sind. Bald danach folgte Papin einem Rufe nach Venedig zur Gründung einer wissenschaftlichen Akademie, wo er aber nur 2 Jahre blieb, um dann wieder der Londoner Royal Society sich anzuschließen, die ihn jetzt zum „Temporary curator of experiments" ernannte, mit der Verpflichtung für die experimentellen Vorführungen bei den Sitzungen der Gesellschaft zu sorgen.


Bild 20. Dionysius Papin.

[1]) Man sieht, daß der Motor das Vorbild derjenigen späteren Gasmotoren-Art war, die um das Jahr 1870 aufkam, die auch mit dem Luftdruck arbeitete und ein Gemisch von Leuchtgas und Luft statt des Schießpulvers verwandte.

Im Jahre 1685 mußte Papin erfahren, daß er seine Heimat verloren hatte, da alle Protestanten in Frankreich unterdrückt wurden (Aufhebung des Ediktes von Nantes).

Viele zogen nach Deutschland und waren dort gern gesehen; so berief der Landgraf Karl von Hessen-Kassel einen Verwandten von Papin und zugleich Papin selbst an die Universität Marburg, und Hessen war ihm von da ab durch fast 20 Jahre eine zweite Heimat, allwo er auch eine Familie gründete. Er hielt Vorlesungen über Mathematik und einige Teile der Physik; sein Hauptstreben war jedoch auf die Verwirklichung von mehreren Erfindungen gerichtet, die ihn fortdauernd beschäftigten, darunter vor allem eine Abänderung von Huygens' Pulvermotor, wobei statt der Pulvergase heißer Wasserdampf verwendet werden sollte, der den richtig erkannten Vorteil bot, nach Abkühlung des Zylinderinhaltes ein viel vollständigeres Vakuum und somit bessere Ausnutzung des Luftdruckes zu ergeben und keine Rückstände zu hinterlassen. Es war dies der Grundgedanke der heutigen Niederdruck-Dampfmaschine. Für eine solche Maschine zeigte sich auch der Landgraf gleich als er Papin zuerst empfing sehr erwärmt, wie er überhaupt an allen Erfindungen Papin's lebhaftes Interesse nahm, besonders wohl, da sie für Wasserkünste, Mühlen und Bergwerke verwendbar schienen. Leider nur war Hessen wie das übrige Deutschland durch Ludwig XIV. fortdauernd in Kriege verwickelt, und dies zog immer wieder des Landgrafen Teilnahme sowie auch die verfügbaren Mittel von Papin's Unternehmungen ab, wodurch dieselben oft aufs äußerste behindert waren, was Papin immer wieder schwer enttäuschte, um so mehr, als ihm eigene Mittel fehlten, die er hätte zusetzen können. Auch kamen zuweilen Befehle, die den Abbruch der Arbeit bedeuteten oder ihr plötzlich eine ganz veränderte Richtung gaben. Unter solchen Umständen veröffentlichte Papin im Jahre 1690 seinen Plan der Dampfmaschine, ehe er in wirksamem Maßstabe ausgeführt war[1]). Er kommt dabei auch schon auf den Gedanken der Hochdruckmaschine, wobei der Druck des Dampfes im Zylinder den Kolben vortreibt und die Herstellung des Vakuums durch Kühlung wegfällt, und er faßt auch schon die Verwendung der Maschine zu anderen Zwecken als nur zum Wasserpumpen ins Auge, so z. B. zum Treiben von Schiffen mit Schaufelrädern. Die Kolbenstange sollte dabei gezahnt sein und auf ein Zahnrad an der zu drehenden Achse wirken. Ein Dampfkessel war nicht vorgesehen, sondern es sollte der Zylinder selbst abwechselnd geheizt und gekühlt werden.

Unterdessen wandte sich Papin (1692) dem Bau eines Tauchschiffes und dann (1698) der von ihm erfundenen Zentrifugal-Pumpe zu. Das Tauchschiff glückte nach einigem Mißlingen zur Befrie-

[1]) Acta Eruditorum. August 1690.

digung des Landgrafen[1]). Die Zentrifugal-Pumpe, eine erste Anwendung der von Huygens studierten Fliehkraft, arbeitete gut mit Luft, indem sie einen Bergwerksschacht ventilierte; zum andauernden Pumpen von Wasser reichte bei der erforderlichen schnellen Drehung die damals benutzte Menschenkraft nicht aus.

Im Jahre 1698 trat für Papin insofern eine Verbesserung ein, als ihn — zu seiner großen Freude — der Landgraf in seine Nähe, nach Kassel berief, damit er dort eine Maschine errichte, die Wasser aus der Fulda auf einen Turm des an dem Fluß gelegenen Schlosses pumpen sollte. Papin verwandte hierzu, abweichend von seinem veröffentlichten Plane, einen besonderen eisernen Dampfkessel, dessen Dampf unmittelbar oder mit Zwischenschaltung eines lose auf dem Wasser schwimmenden Kolbens auf das Wasser drückte, worauf abwechselnd, bei abgesperrtem Dampfzufluß, wieder neues Wasser den Raum des sich verdichtenden Dampfes füllte. Die Maschine wurde leider im November desselben Jahres durch den Eisgang der Fulda zerstört, womit zunächst aber auch das Interesse des Landgrafen für die Sache wieder erloschen war. Pump-Maschinen, in welchen der Dampf unmittelbar auf das Wasser drückte, waren indessen in England schon in Gebrauch gewesen. Sogar schon 35 Jahre früher (1663) war eine solche von dem Lord Somerset, Marquis von Worcester mit Hilfe des geschickten Mechanikers Kaspar Kalthoff in London ausgeführt worden, und sie erregte großes Aufsehen, so daß Lord Somerset ein besonderes Gebet für sich verfaßte, um sich vor Übermut ob des Gelingens zu bewahren[2]). Diese Erfindung ging dann, nachdem sie (wohl durch Mangel an geschickten Ausführenden) durch Jahrzehnte vergessen schien, auf den Engländer Savery über, der die Pumpe im Jahre 1698 (d. i. zur Zeit von Papin's Pumpenbau) von neuem und verbessert beschrieb und im Jahre 1699 im Modell der Royal Society sowie später dem König von England vorführte. Hiervon erfuhr auch Landgraf Karl in Kassel und dies veranlaßte ihn, im Jahre 1705 Papin von neuem mit der Ausführung einer solchen Maschine zu beauftragen. Sie wurde 1706 fertig, und pumpte Wasser 70 Fuß hoch; nur das aus allerlei Stücken gekittete Steigrohr hielt nicht dicht. Der Landgraf ließ nun zwar ein Steigrohr aus Kupfer machen, war aber immer wieder abgehalten, und ohne seine Gegenwart durften keine Versuche angestellt werden. Endlich im Jahre 1707 wurde Papin sogar das Kupferrohr weggenommen, da es zu anderen Zwecken verwendet werden sollte. Dies, wie schon früher ähnliche Begebenheiten, ließ Papin's schon immer erwogenen Entschluß, sein

---

[1]) Nach den erhaltenen Zeichnungen kann Papin's Tauchschiff als eine verbesserte, unten geschlossene Taucherglocke bezeichnet werden.

[2]) Siehe Poggendorff, „Geschichte der Physik", Leipzig 1879, S. 531—539.

Glück wieder in England zu versuchen, zur Ausführung kommen. Er veröffentlichte zunächst noch im gleichen Jahre seine Wasserpump-Maschine in einer besonderen Druckschrift, die er Leibniz sandte, worauf dieser ihm den Gedanken selbsttätiger Steuerung der Maschine mitteilte, zur Ersparnis der Person, die die Hähne abwechselnd drehen sollte[1]).

Von der Übersiedelung nach England riet Leibniz sehr ab; sie wurde Papin auch zum Verhängnis. Er hatte zur Reise ein kleines Schiff (für 4000 Pfund Belastung) vorgerichtet, das er mit Schaufelrädern versah (wie er sie übrigens bei seinem früheren Aufenthalt in England gelegentlich schon in Gebrauch gesehen hatte), die von Hand zu treiben waren. Damit wollte er mit seiner Familie und Habe die Fulda und Weser abwärts bis Bremen fahren, wo das Schiff verfrachtet werden sollte, da er es in England für Dampfbetrieb mit seiner Zylinder- und Kolben-Maschine einzurichten beabsichtigte. Er führte dieses Schiff vor der Abreise dem Landgrafen auf der Fulda noch in Tätigkeit vor. Das Schiff wurde ihm bei Münden von den Weser-Schiffern, die fremde Fahrzeuge nicht dulden wollten, zerstört, und in England fand er sich von aller Hilfe verlassen. Seine früheren Gönner Boyle und Hooke waren verstorben; die Royal Society war für seine Pläne, deren er ihr viele anbot, nicht zu haben. Er verstarb, offenbar in großer Armut, zuletzt verschollen, vermutlich in der ersten Hälfte des Jahres 1712.

War nun Papin's Schicksal auch erfüllt, so ging die weitere Entwicklung der Dampfmaschine doch von seinem Gedanken aus, die Pulvergase in Huygens' Zylinder- und Kolbenmaschine durch den Wasserdampf zu ersetzen, und auch Leibnizens Vorschlag der Selbststeuerung kam — wenn auch wie neu gefunden — bald zur Ausführung. Hooke hatte Papin's Veröffentlichung von 1690 an einen Eisenhändler und sehr geschickten Schmied, Newcomen, gegeben, der fleißig danach arbeitete und dann im Jahre 1705 mit Savery sich verbündete, der schon, wie erwähnt, 1699 mit bloßem Dampfkessel, ohne Zylinder und Kolben, Wasser gedrückt hatte. So kam im Jahre 1711 die erste Niederdruck-Dampfmaschine mit Kessel, Zylinder und Kolben und bald auch der selbsttätigen Steuerung in dauernden Betrieb. Ihre hin- und hergehende Bewegung diente zum Trockenpumpen eines Kohlenbergwerkes, und es wurden bald mehr solche Pump-Maschinen für Englands Kohlengruben gebaut. Zuverlässige und wesentlich ausgiebigere Wirksamkeit und allgemeinere Anwendbarkeit mit Drehbewegung wurde erst 70 Jahre später durch Watt erreicht, der den neuen Gedanken des getrennten Kondensators hinzufügte.

---

[1]) Briefwechsel S. 375.

James Bradley
(1692—1762).

Die von Römer angebahnte Einführung des Kepler'schen Fernrohres für astronomische Meßzwecke und die dementsprechende Verfeinerung der zugehörigen Teilkreise brachte es mit sich, daß man zu stetig verfeinerter Nachprüfung der Unveränderlichkeit der Fixstern-Örter kam. Besonders mit Rücksicht auf die jährliche Bewegung der Erde war seit Kopernikus mit stets wachsender Zuversicht eine jährlich sich wiederholende scheinbare Verschiebung etwa näher gelegener Fixsterne gegenüber den fernerstehenden gesucht worden, „Parallaxe" genannt, die, ausgemessen, sofort den Abstand des betreffenden Sternes in Einheiten des Erdbahn-Durchmessers ergäbe. Es fanden sich auch Zeichen von Verschiebungen einzelner Fixstern-Örter, und Halley hatte zuerst 1718 Eigenbewegungen von Aldebaran, Arktur und Sirius festgestellt; eine an sich wichtige Entdeckung. Doch waren diese Bewegungen nicht periodisch. Bradley war der erste, der mit genügend feinen Mitteln und genügend andauernd nach jährlichen Verschiebungen forschte, die auch schon behauptet worden waren (so von Hooke); er legte sie zuerst unzweifelhaft fest, soweit die damaligen Meßmittel es erlaubten, und er vermochte sie auch richtig zu deuten. Im Jahre 1728 waren ihm genügend viele Messungen an einem Stern gelungen. Es zeigte sich, daß die Verschiebungen zwar die erwartete jährliche Periode hatten, aber überraschenderweise doch keiner Parallaxe entsprachen. Die Bewegung war nämlich nicht der Erdbewegung entgegengesetzt, sondern der Stern schien jederzeit in Richtung der Erdbewegung verschoben.

Folgendes ist die von Bradley bald gefundene richtige Erklärung für diese dann „Aberration" benannte, unerwartete Verschiebung. Wenn, nach Römer's Beobachtungen, das vom Stern kommende Licht Zeit braucht zu seiner Ausbreitung in das Fernrohr hinein, und das Fernrohr bewegt sich mit der Erde quer zum Lichtstrahl, so muß das Fernrohr ein wenig nach der Bewegungsrichtung hin geneigt werden, um den Strahl zentrisch aufzufangen, und um ebensoviel wird der Stern in der Bewegungsrichtung verschoben erscheinen. Es ist dasselbe, wie wenn man unter senkrecht herabfallendem Regen entlang geht; man wird dann mehr vorn naß als hinten, als käme der Regen schief von vorn her. Ist die Erklärung richtig, so muß der Winkel, unter welchem die Sterne abgelenkt erscheinen, gegeben sein durch das Verhältnis zwischen Erdgeschwindigkeit und Lichtgeschwindigkeit, und dies trifft zu.

Diese Übereinstimmung bedeutete neue Einsichten von großer Wichtigkeit: Es war Römer's Messung der Lichtgeschwindigkeit in ganz neuartige Verbindung mit Kopernikus' und Kepler's Kenntnis

von der Erdbewegung gekommen, was eine Festigung aller dieser Kenntnisse bedeutete; zugleich war mit der Aberration eine neue Erscheinung am Lichte gefunden, die für alle Zeiten in den Fragen des Äthers (und der Absolut-Bewegung im Himmelsraum) bedeutungsvoll sein wird.

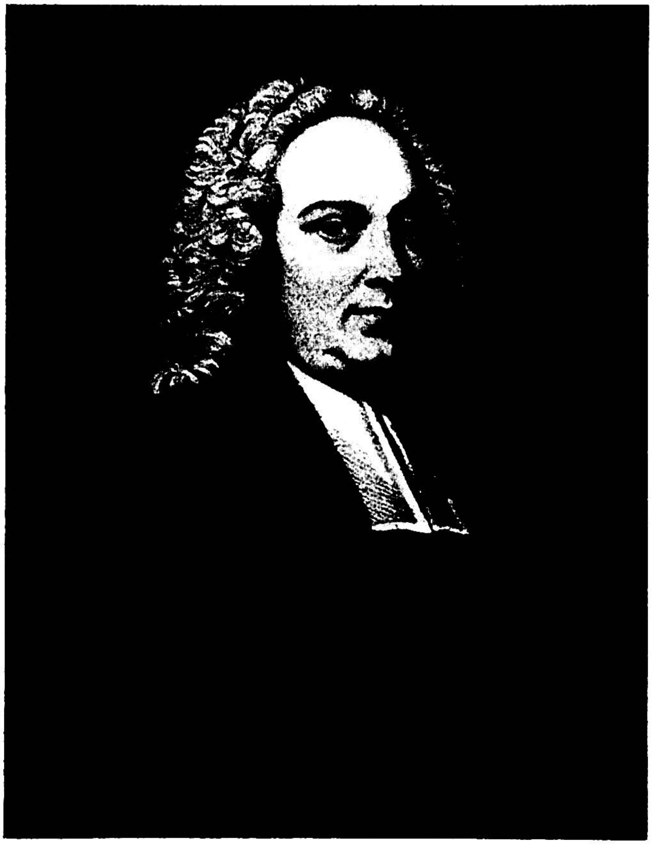


Bild 21. James Bradley.

Der Aberrations-Winkel ist entsprechend der sehr großen Lichtgeschwindigkeit nur klein; er beträgt nur 20 Bogensekunden. Die ursprünglich gesuchten Fixstern-Parallaxen sind noch kleiner; sie betragen selbst für die nächststehenden Sterne nur weniger als eine Bogensekunde. Es konnte daher auch erst 109 Jahre später, als Fernrohre und Meßkreise besonders durch Fraunhofer wieder weiter verfeinert waren, zum ersten Mal eine Fixstern-Parallaxe festgestellt werden.

Bradley war in der englischen Grafschaft Gloucester (am Flusse Severn) zu Hause und war von 1721 bis 1742 Professor der Astronomie in Oxford. Die Mittel zu seiner Entdeckung verdankte er den Privat-Sternwarten begüterter Liebhaber der Astronomie. Nachher wurde er Direktor der königlichen Sternwarte zu Greenwich, Halley's Nachfolger, wo er besonders feine Beobachtungen über die schon von Newton berechnete Nutationsbewegung der Erdachse ausführte.

Joseph Black (1728—1799) und James Watt (1736—1819).

Black ist der Begründer der Messung von Wärmemengen, der Kalorimetrie.

Den Wärmezustand, die Temperatur, wußte man mit Thermometern schon seit Galilei wenigstens insoweit zu messen, als jeder Forscher an seinem, bis zu diesen Zeiten stets selbstverfertigten Thermometer Marken anbringen konnte, die bestimmten Temperaturen entsprachen. Die Temperatur schmelzenden Eises war danach bald als unveränderlich angenommener „Fixpunkt" bei Neuanfertigung von Thermometern in Benützung gekommen. Ein zweiter Fixpunkt ergab sich, nachdem durch Papin die Abhängigkeit des Siedepunktes des Wassers vom Druck bekannt war, als der Siedepunkt bei festgelegtem „normalem" Barometerstand. Von da ab waren auch gut festgelegte Thermometer-Skalen möglich geworden, mit 80 oder 100 Graden zwischen Eis- und Siedepunkt.

Eine ganz andere Frage war es aber geblieben, die Menge der Wärme — dieses unbekannten Etwas — anzugeben, die man z. B. braucht, um die Temperatur eines gegebenen Körpers um eine gegebene Gradzahl zu erhöhen. Unzweifelhaft ist es wohl immer gewesen, daß für die doppelte Menge desselben Stoffes doppelt so viel Wärme nötig sein wird; aber wie bei Erwärmung verschiedenartiger Stoffe bei gleicher Menge? Diese Frage schien sogar sehr schwierig, ja unangreifbar. Es gab damals dazu nur einige oberflächlich gedachte Vermutungen. Black war es, der durch ausgiebige, neuartig überlegte Beobachtungen die notwendige neue Grundlage zur Behandlung aller Fragen der Wärmemenge schuf. Wollte er einen Körper in bezug auf Wärmeverbrauch beim Erwärmen oder auf Wärmeabgabe beim Erkalten mit Wasser vergleichen, so ließ er den erhitzten Körper seine Wärme an Wasser abgeben und bestimmte die Anfangstemperaturen und die gemeinsame Endtemperatur. Von dem Gedanken ausgehend, daß der eine Körper die gleiche Wärmemenge abgegeben haben müsse, die der andere empfangen hat, wenn

Wärmeaustausch mit der Umgebung vermieden war, konnte er hiernach die „Wärmekapazitäten“ verschiedener Stoffe widerspruchsfrei mit der des Wassers und dadurch auch miteinander vergleichen. Es ist das der vollständige Grundgedanke des „Mischkalorimeters“, nach welchem auch heute noch Wärmekapazitäten (später auch „spezifische Wärmen“ genannt) gemessen werden. Auch ein anderes kalorimetrisches Verfahren, die „Erkaltungsmethode“ wandte Black ausgiebig und zum erstenmal an; ebenso rührt von ihm auch die Grundlage zum „Eiskalorimeter“ her, das erst mehr als hundert Jahre später von Bunsen höchst verfeinert, eins der exaktesten Meßmittel für Wärmemengen wurde.

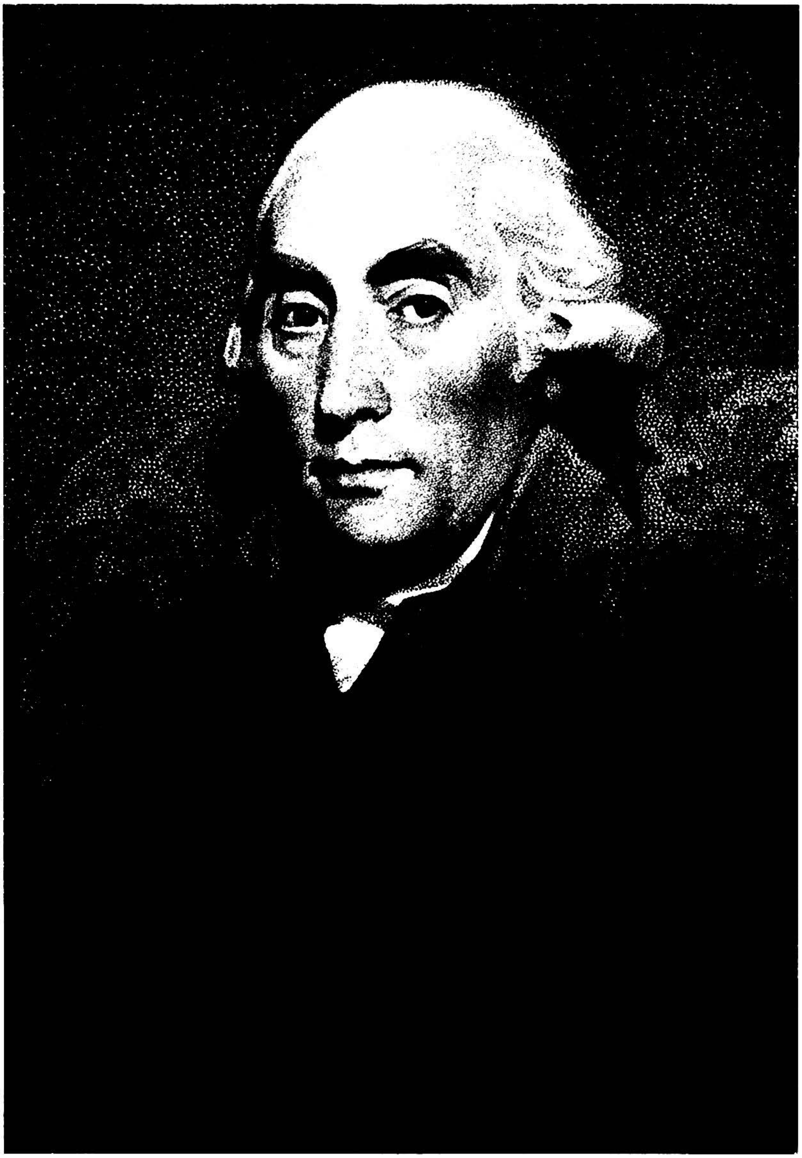
Hierbei war eine besondere, ganz allgemein wichtige Erkenntnis von Black grundlegend, die der damals verbreiteten Meinung entgegengesetzt war. Er stellte fest, daß zu Aggregatzustands-Änderungen — zum Schmelzen, Versieden — gegebener Stoffmengen nicht nur eine bestimmte Temperatur erforderlich ist, sondern daß auch jeweils eine bestimmte Wärmemenge verbraucht wird, die am Thermometer unmerklich bleibt. Er wies z. B. nach, daß beim Schmelzen von Eis trotz ständiger Wärmezufuhr die Temperatur nicht über 0^0 steigt, ehe alles Eis geschmolzen ist, wodurch übrigens auch der Eispunkt als Thermometer-Fixpunkt erst vollständig gesichert wurde. Black maß auch bereits die „Schmelzwärme“ des Eises und die „Verdampfungswärme“ des Wassers (er nannte sie „latente“ Wärmen) mit Ergebnissen, die den heute hierfür bekannten Zahlen so nahe stehen, als bei erster Durchführung eines neuen Gedankens und Meßverfahrens nur je erwartet werden kann. „Es ist kaum möglich, durch Beachtung unscheinbarer, Jedem zugänglicher Erfahrungen tiefere Einsichten zu gewinnen, als es Black hier tut. Zu diesem empfänglichen Blick für die Vorgänge in der alltäglichen Umgebung kommt noch die scharfsinnige Analyse des Einzelversuches und das Geschick in der erfolgreichen Anwendung geringfügiger Mittel“[1]).

Seine kalorimetrischen Untersuchungen begann Black schon vor 1760[2]); 1762 trug er die Ergebnisse einer gelehrten Gesellschaft in Glas-

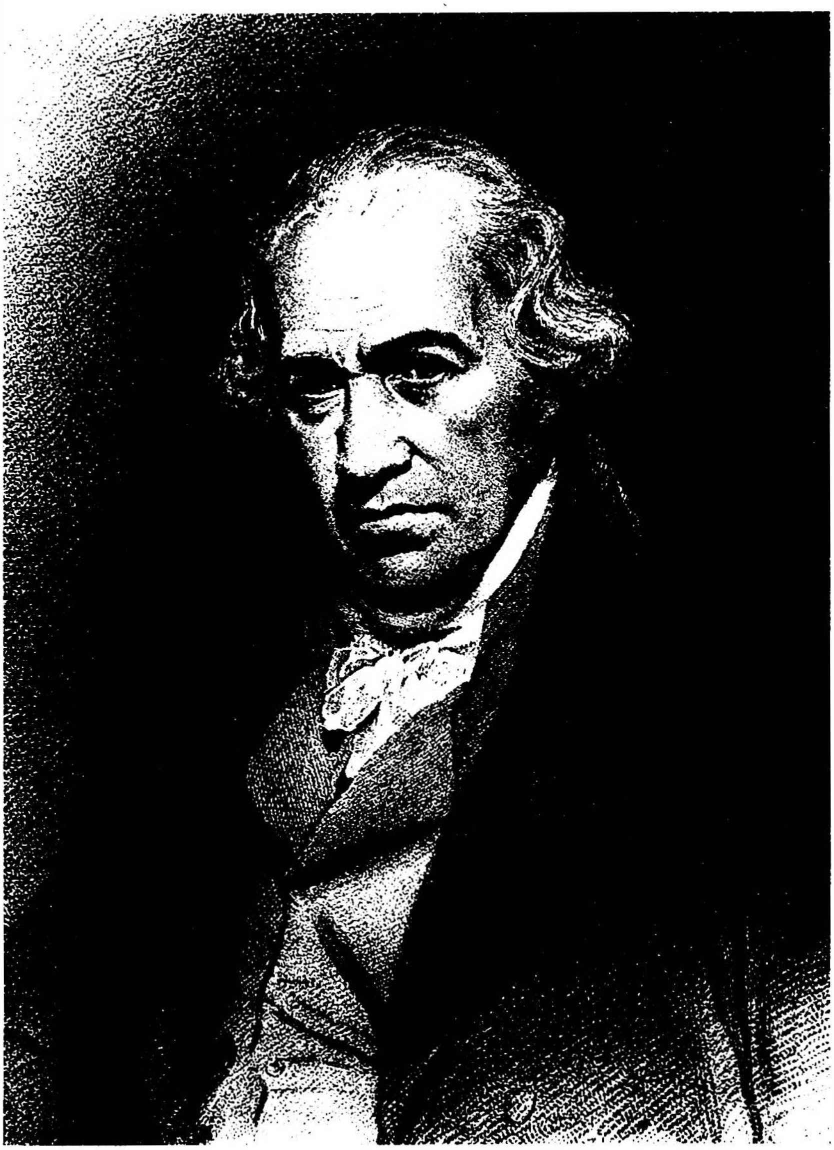
---

[1]) E. Mach, „Die Prinzipien der Wärmelehre, historisch kritisch entwickelt“, Leipzig 1896, S. 163.

[2]) Es sind aus dem Jahre 1760 mündliche Mitteilungen von Black an Zeitgenossen verbürgt, z. B. an Watt über die Verdampfungswärme des Wassers und deren erhebliche Größe. Von 1772 an veröffentlichte der Mecklenburger Wilcke — auch durch elektrische Untersuchungen verdient — bei der schwedischen Akademie Versuche, die ebenfalls auf Wärmeverbrauch bei Aggregatzustandsänderung und bei Temperaturänderung verschiedener Körper sich bezogen. Er war der erste nach Black, der das Wesentliche der hierbei vorliegenden Fragen hervorhob. Lavoisier und Laplace sind erst 1780 mit kalorimetrischen Arbeiten hervorgetreten. Bemerkenswert ist in dieser Beziehung —



Joseph Black



James Watt

studierte er Medizin und Naturwissenschaften an der Universität Glasgow und vier Jahre später in Edinburgh. Im Jahre 1756 wurde er auf Grund seiner Arbeiten über die Alkalien Professor der Chemie an der Universität Glasgow als Nachfolger seines früheren dortigen Lehrers und 10 Jahre später wieder dessen Nachfolger in Edinburgh, wo er im Alter von 71 Jahren verstarb. In seinen jüngeren Jahren hatte er auch als sehr geschätzter praktischer Arzt gewirkt. Daß er bei Lebzeiten nicht viel veröffentlichte, aber alle seine Einsichten mündlich mitteilte, besonders auch in seinen Vorlesungen, die sehr beliebt waren, und die er eingehend niedergeschrieben hinterließ[1]), dies entspricht allem, was über sein in hohem Maße vornehmes Wesen und die stete Ruhe seines Gemüts auch sonst berichtet wird. Er war von Gestalt sehr groß, hager, von blasser Gesichtsfarbe; seine weit geöffneten Augen — wird berichtet — blickten wie aus klarer, dunkler Tiefe heraus.

James Watt, der große Verbesserer der Dampfmaschine, der durch die Erfindung des getrennten Kondensators und der Ausbildung aller Nebenbestandteile die fertige Niederdruck-Dampfmaschine entstehen ließ und zur Durchführung im großen brachte, war geboren in Greenock im westlichen Schottland. Er war ein sehr aufgeweckter, aber kränklicher Junge, der bald viel in Büchern stöberte, aber auch ebensosehr zu mechanischen Beschäftigungen neigte. Entsprechend den geringen Mitteln der Familie wurde er mit 18 Jahren in die Lehre zu einem Mechaniker in Glasgow und dann nach London geschickt. Drei Jahre später wurde er Universitäts-Mechaniker in Glasgow. Seine Werkstatt war gern von den Professoren besucht, die an seiner Vielseitigkeit, seinem Geschick und seinem einfach-klaren Wesen sich erfreuten. Dort schloß auch Black Freundschaft mit dem 8 Jahre jüngeren, ihm innerlich so nahe stehenden Mechaniker, und es blieb ein Treueverhältnis zwischen Beiden bestehen, was besonders an der späteren Fürsorge sich zeigte, die Black in noch kommenden Nöten Watt gewährte.

Im Jahre 1759 erfuhr Watt zum ersten Male von den damals noch seltenen Dampf-Pumpmaschinen, „Feuer-Maschinen" genannt, und später, daß die Universität ein Modell einer solchen Maschine besitze, das jedoch zur Zeit zur Ausbesserung in London sich befinde. Das Modell wurde auf Watt's Wunsch zurückverlangt, damit er es instand setze; doch kam es erst im Jahre 1763 an. Unterdessen hatte Watt schon mit einem Papin'schen Digestor als Dampfkessel und dem Zylinder und Kolben von einer Spritze eingehende Versuche angestellt, auch alle Bücher zu Rate

[1]) Sie wurden auch deutsch herausgegeben („Vorlesungen über Chemie", Hamburg 1804). Dabei auch Nachrichten aus Black's Leben von J. Robinson.

gezogen, wobei ihm auch Black in Gesprächen behilflich war. Er sah, daß der Druck des Dampfes bei genügend geheiztem Kessel sehr wohl genügen würde, ohne Zuhilfenahme des Luftdruckes eine Maschine zu treiben (was bei jeder heutigen „Hochdruck-Maschine", z.B. Lokomotive der Fall ist); jedoch war damals noch nicht daran zu denken, Kessel, die den nötigen hohen Dampfdruck mit Sicherheit ausgehalten hätten in genügender Größe zu bauen (und dies war wohl auch der Grund, warum schon Papin die „Niederdruck-Maschine" bevorzugte, die den Dampf nur zur Herstellung des Vakuums benutzte). Das Modell setzte Watt dann bald in Gang, und er sah daran auch den großen Mangel, der diese Maschinen für die Dauer wenig beliebt gemacht hatte: den unverhältnismäßig großen Dampfverbrauch. Es mußte bei jedem Kolbenhub der zuvor gekühlte Zylinder jedesmal durch den einströmenden Dampf erst wieder auf Kesseltemperatur geheizt werden, um dann wieder gekühlt zu werden, was den sehr großen Brennstoffverbrauch dieser Maschinen vollkommen erklärte. Dies brachte Watt bei einem Sonntagsspaziergang ins Freie im Frühjahr 1765 auf den Gedanken des getrennten Kondensators. Er sah ein, daß es genügen würde, den beständig heiß bleibenden Zylinder nach Abschluß vom Kessel mit einem beständig gekühlten Raume zu verbinden, um das gewünschte Vakuum zu erhalten, indem der Dampf von selber in den kalten Raum strömen und dort zu Wasser sich verdichten müsse. Es wurde ihm plötzlich der heute allgeläufige Satz klar, daß in einem von gesättigtem Dampf erfüllten Raume überall derjenige Enddruck sich einstellt, der dem kältesten Punkt des Raumes entspricht. — Man bedenke den Fortschritt solcher Einsicht gegenüber der geradezu völligen Unsicherheit in Fragen des Dampfdruckes, die noch Leibniz und Papin vorgefunden hatten, bis sie selbst zur Erkenntnis vordrangen, daß die Druckerscheinungen an erhitztem Wasser diesem selber und seinem Dampfe zuzuschreiben sind, nicht etwa einem „verpuffenden Bestandteil", den man im Wasser annehmen wollte. Erst 30 Jahre später vermochte Dalton die Fragen des Dampfdruckes noch wesentlich weiter als Watt zu klären.

Der getrennte Kondensator, den Watt alsbald im kleinen erprobte, bewährte sich dabei sogleich in der vorgesehenen Weise: Damit war Watt's Niederdruck-Maschine in der Hauptsache erfunden; die anderen für ihre gute Wirkung wesentlichen Bestandteile, wie Luftpumpe, Speisepumpe, Kondensator-Wasserpumpe, Schwungrad, Zentrifugal-Regulator, Doppelte Wirkung mit Dampf auch über dem Kolben und gedichteter Kolbenstange, ergaben sich für Watt unmittelbar von selber, — nicht aber ohne daß er die große Weite des Schrittes von der Erfindung bis zu einer Durchführung im großen noch sehr zu empfinden hatte. Wir können seine Schicksale hierbei nicht ganz im einzelnen verfol-

gen[1]). Papin war in ähnlichen Lagen gewesen und war gescheitert; Watt hatte vor ihm den Vorsprung der schon erfolgten Durchführung des Papin'schen Gedankens im großen in den — wenn auch sehr unvollkommenen — Maschinen von Newcomen und Savery, außerdem aber auch besonders den Vorzug nicht nur Erfinder, sondern auch selber ausführender Mechaniker zu sein. Dennoch half ihm das nicht so viel, als er zunächst wohl dachte. Es war für die damaligen Hilfsmittel keine Kleinigkeit, ja es schien eine Weile fast hoffnungslos, vor allem Zylinder und Kolben von der erforderlichen Größe so vollkommen geformt, dauerhaft dichthaltend und doch leicht beweglich herzustellen, wie es notwendig war, um die gute Wirkung des Kondensators zur Geltung kommen zu lassen, und die Schwierigkeit war um so größer, als mit beiderseitiger Dampfwirkung im Zylinder gearbeitetwerden sollte. Watt lebte indessen von nun an ganz der Durchführung seiner Maschine. Er hatte die Universität verlassen, um eine größere Werkstatt zu eröffnen, die er aber nicht zu halten vermochte, weil die Maschine nur Mittel verschlang, ohne noch Erfolg zu zeigen. Black, der schon öfter mit seinen Mitteln ausgeholfen hatte, die aber auch nicht weiter reichten, brachte ihn dann mit einem wohlhabenden und verständigen Mann (Roebuck) in Verbindung, der zur Trockenpumpung seiner wasserreichen Kohlengruben eine Maschine auf seine Kosten durch Watt gebaut haben wollte und der auch selbst Werkstätten dazu besaß. Seinen Lebensunterhalt suchte Watt damals zeitweilig als Landvermesser. Neun Jahre vergingen so; aber die Maschine gelang nicht. Die Kohlengruben wurden überschwemmt und der vertrauensvolle Mann war darüber so mittellos und verschuldet geworden, wie Watt selber.

Es war einzusehen, daß Watt's Gedanken — wenn überhaupt — doch nur mittels der weitestgehenden technischen Zurüstungen durchgeführt werden könnten, die die damalige Zeit zu bieten vermochte, wie sie in einzelnen ganz großen Werkstätten Englands, nicht aber im damals armen Schottland vorhanden waren. Der Besitzer einer solchen Werkstatt, in Soho bei Birmingham, Mathew Boulton, ein sehr unternehmender Kopf, gleichzeitig von großen wissenschaftlichen Interessen und vornehmstem Charakter, war geneigt, mit Watt sich zu verbinden;

[1]) Man sehe die eingehende und kundige Lebensbeschreibung in „Lives of the Engineers". „Boulton and Watt" von S. Smiles, London 1878. Der übelste Teil der Schwierigkeiten, die späterhin Watt noch drohten, lag in der Raffsucht der Menschen, welche mit steigendem Erfolg der Maschine in steigendem Maße gegen ihn zu Tage trat. „The rascality of mankind is almost beyond belief" (die menschliche Schurkerei übersteigt fast alles Glaubliche), war eine seiner Äußerungen zu Black. — Ein neueres Werk, „Watt and the steam engine" von Dickinson und Jenkins, Oxford 1927, bringt viele Bildnisse und historische Maschinen-Zeichnungen.

so wanderte dieser aus seiner Heimat aus und zog im Jahre 1774 nach Birmingham, wohin auch die wertvollsten Teile der bisherigen Versuchs-Maschine gebracht wurden. Nach zwei Jahren war nun endlich die erste Maschine zu aller Zufriedenheit gelungen; sie war für einen Hochofen bestimmt, um dessen Gebläse zu treiben. Es war ein lange nicht dagewesener Freudentag für Watt, als dies gelang, und groß war auch die Freude seines immer teilnehmenden alten Freundes Black. Die Kunde von der gewaltigen und zuverlässigen Wirkung, bei so wenig Kohlenverbrauch, verbreitete sich schnell, und die Zahl der nun nacheinander nach Watt's Angaben gebauten Maschinen stieg beständig. Viele Kohlenbergwerke wurden überhaupt erst betriebsfähig, nachdem Watt's Maschinen sie mit Sicherheit trocken pumpten, wobei er fast immer selbst die Aufstellung leiten mußte, um den Erfolg zu sichern. Erst nach sechs Jahren (1782) kam er dazu, Maschinen mit Schwungrad für Drehbewegung zu bauen. Es ist bemerkenswert, daß er dabei die an jeder Drehbank schon lange benutzte Kurbel vermeiden und einen besonderen Mechanismus zur Übersetzung der hin- und hergehenden Bewegung in die drehende ersinnen mußte (das „Sonnen- und Planetenrad"): Es hatte Einer Watt's Absicht erlauscht und zuvor ein Patent auf Dampfmaschinen mit Kurbel genommen! Mit der Einführung der Schwungrad-Maschine war die Entwickelung im großen fertig eingeleitet, die über ein Jahrhundert lang fast ohne Hinzufügung neuer Gedanken anhielt. Denn die Hochdruck-Maschine, die Expansions-Maschine, der Röhrenkessel waren alle schon von Papin, Watt und Boulton gedacht, und Carnot's und Robert Mayer's spätere tiefere Grundlagen brachten nichts wesentlich Neues für die Ausgestaltung der Maschine. Was Watt zuerst nur zweifelnd dachte: daß auch Mühlen und andere Betriebe, die schon ziemlich im Großen auf Wasserkräfte eingerichtet waren, in noch weit größerem Maßstabe zum Dampfbetrieb übergehen würden, trat ein, weil Kohle, eben dank der Pump-Maschinen, überall zuverlässig und billig zu haben war. So leitete sich eine Umwälzung in allen mechanischen Betrieben ein, besonders schnell auch in Spinnerei und Weberei, weil man bald auf Hunderte von Pferdekräften mit Sicherheit zu rechnen vermochte; das Zeitalter der Dampfmaschine begann. Watt erlebte noch einen vielversprechenden Anfang, und er vermochte mit zunehmendem Alter auch immer mehr des Erfolges sich zu erfreuen; selbst die Kopfschmerzen, von denen er in seinen arbeitsreichsten Jahren viel geplagt war, ließen ihn zuletzt frei, und es war ihm ein behagliches Alter beschieden. Er war zweimal verheiratet — die erste Frau war ihm früh verstorben —; sein Lebensalter erreichte 83 Jahre.

Nicht zu vergessen ist, daß Watt auch an reiner Forschungsarbeit beteiligt war; er hat — mit Priestley befreundet — Anteil an der damals im Werden begriffenen, durch Cavendish vollendeten Erkenntnis von der Zusammensetzung des bis dahin immer noch für einen Urstoff gehaltenen Wassers[1]). Bemerkenswert ist auch die vollkommene Klarheit, mit der er den Begriff „Arbeit" behandelt, worin er nach Leonardo und Stevin wesentlich fortschreitet, was allerdings bei Entwickelung der Dampfmaschine fast selbstverständlich erscheinen muß. Er mißt die im Zylinder in seinen Maschinen geleistete Arbeit treffend als das Produkt von Druck und Volum, welches Produkt hier anstelle von Kraft mal Weg tritt. Dazu baute er ein besonderes Instrument, das an den Zylinder geschaltet werden konnte, den „Indikator". Auch das jetzt noch gebrauchte Maß für Arbeitsleistung in der Zeiteinheit, die Pferdestärke (75 mkgr/sek nach heutigem Maße) ist von ihm eingeführt worden.

Watt wurde ein eindrucksvolles Denkmal in der Westminster-Abtei zu London errichtet; die Inschrift preist ihn als „Wohltäter der Menschheit". Er war das auch, soweit es an ihm gelegen war. Er hat, wie ebenfalls die Inschrift sagt, „die Kräfte der Menschen vermehrt". Mehr als verzehnfacht sind sie durch die Dampfmaschine. Aber warum findet man die Menschen nicht glücklicher, nicht geistig höherstehend geworden durch Watt's Geschenk, das wohlgeleitete Naturkräfte für sie vollbringen läßt, was ihre und der Haustiere Muskeln niemals hätten leisten können? Man kann ebensogut fragen: Wo sind die Unternehmer, die Dampfmaschinen aufstellen, um damit Menschen glücklich zu machen — nicht, um vorberechnete Geldprozente zu erzielen? Watt hat die Gaben seines Geistes anders verwaltet, als diese Geister seine Gabe.

Wilhelm Scheele (1742—1786), Joseph Priestley (1733—1804). Henry Cavendish (1731—1810).

Diese drei großen Entdecker, eifrigen und exakten Experimentatoren haben zusammen mit Black die Wissenschaft begründet, welche jetzt Chemie genannt wird. Es geschah dies durch Beibringung einer großen Menge ganz ungeahnter Tatsachen, die gewöhnlichsten Stoffe, wie Wasser und Luft betreffend, und durch die Entdeckung neuer Stoffe, die zwar überall ringsum schon immer vorhanden waren und fortdauernd eine wichtige Rolle spielten, die aber noch nicht für sich abgeschieden und rein untersucht waren. Mit ihren heutigen

[1]) Man kann hierüber Näheres in Kopp's Geschichte der Chemie ersehen (Braunschweig 1845), Bd. 3, S. 266 ff.

Namen waren es Wasserstoff, Sauerstoff, Chlor, die dann mit ihren neuartigen Eigenschaften plötzlich wie eine neue Welt voll Wundern dastanden, dabei Vieles verständlich machend und in ganz neuem Lichte zeigend, so die Verbrennung und Atmung, was bis dahin völlig unverstanden geblieben war. Dabei gehörte eine nicht geringe Zahl der neu entdeckten Körper dem gasförmigen Aggregatzustand an, der vorher überhaupt nur als „Luft" schlechthin bekannt war, während diese Forscher zeigten, daß es wohl ebensoviel voneinander grundverschiedene Luftarten gibt (wofür dann der Name „Gase" aufkam), als flüssige und feste Körper, und daß diese Gase alle ganz ebenso wesentlich und mit der Waage verfolgbar in das chemische Geschehen eingreifen, wie die anderen Stoffe auch, wie es Black schon am ersten Beispiele der Kohlensäure gezeigt hatte. Hierdurch wurde der luftförmige Zustand der Materie erst in seiner vollen, allgemeinen Wichtigkeit erkennbar. Gase wurden von da ab um so mehr fortlaufend der Gegenstand immer neuer Untersuchungen, als die drei Forscher auch die Methoden hierfür entwickelt hatten. Dazu gehörte vor allem auch das Auffangen über Quecksilber, das die Gase weder so verschluckt, noch so mit seinen Dämpfen verunreinigt wie das Wasser.

Die drei Forscher sind nicht zu trennen. Sie besaßen — mit Black — die gemeinsame Eigenschaft, nicht schnell im Druck zu veröffentlichen was sie fanden, auch nicht es etwa in verschlossenen Briefen bei Akademien niederzulegen (was offensichtlich einen nur eigensüchtigen Zweck verfolgt), sondern es bei sich möglichst reifen zu lassen, ohne es jedoch inzwischen ganz zu verbergen. So kam es, daß sie, voneinander mehr oder weniger wissend, teilweise gleichzeitig an denselben Gegenständen arbeiteten und daß Manches wie ihre gemeinsame Leistung erscheinen kann.

Auch in einer anderen Beziehung waren die drei Forscher einander gleich. Die Fülle des Neuartigen, das sie entdeckten, barg — für sie offensichtlich — doch eine große Fülle von Unbekanntem. Zwar kannte man nun viele Gase, die teils brennbar (Wasserstoff), teils in erstaunlicher Weise das Brennen fördernd sich zeigten (Sauerstoff), und die mit Sicherheit gewogen werden konnten wie flüssige und feste Körper. Aber die Erscheinungen beim Brennen samt der dabei auftretenden Wärme und auch dem Lichte waren doch etwas ganz Rätselhaftes geblieben. Wohl konnte man die Wärme nach Black sogar schon in ihrer Menge messen, wie einen wägbaren Stoff; man wußte aber doch nicht, ob sie etwas wiegt, — etwas Positives oder gar Negatives. Sie schien irgendwie Bestandteil der brennbaren Körper zu sein, der bei deren Verbrennen frei würde, vielleicht identisch mit dem Feuerstoff, auch Phlogiston genannt, von dem man seit etwa 80 Jahren sich vorstellte, daß er beim Brennen in Gestalt der Flamme aus einem Kör-

per in den anderen ginge. Nach den seit Black, ja sogar schon bei Boyle vorliegenden Wägungen wäre man allerdings bei Wärme, Phlogiston und Licht in Schwierigkeiten mit dem Gewichte gekommen, wenn man überhaupt bei den so rätselhaften Feuererscheinungen an unzweifelhafte Unveränderlichkeit der Gewichte aller beteiligten Dinge von vornherein hätte denken mögen. Hierzu hätte eine besonders materialistische (Unwägbares von vornherein für unwesentlich haltende) Denkweise gehört, die die drei Forscher ebensowenig besaßen wie Kepler oder Newton, und hieraus erklärt sich vielleicht allein schon das ihnen gemeinsame Festhalten an der Vorstellung vom Phlogiston[1]), die von Priestley sogar eifrig verteidigt wurde[2]). Eben die drei Forscher waren es aber, die — wie schon Boyle und Black — alles taten, was geeignet war auf dem einzig möglichen Wege — nämlich aus der Naturbeobachtung — zu erfahren, wie es mit den wägbaren oder unwägbaren Dingen bei den chemischen Umsetzungen wirklich stehe. Mit dem Hinzukommen ihrer Forschungen waren gerade genug Tatsachen gewonnen, um mit einiger Sicherheit versuchen zu können, ob man — bei voller Berücksichtigung auch der gasförmigen Körper — mit unveränderlichem Gewichte der beteiligten Stoffe auskomme, wenn man von einem Gewicht auftretender oder verschwindender Wärme absieht und einen besonderen Feuerstoff (Phlogiston) überhaupt außer Betracht läßt. Dies wurde zuerst von Lavoisier durchgeführt (lebte 1743—1794 in Paris)[3]). Es zeigte

[1]) Für Scheele trifft die Erklärung vielleicht nicht ganz zu. Er sagt in seinen „Chemischen Abhandlungen von der Luft und dem Feuer" (1777): „Daß das Licht unter die Zahl der Körper so wie die Wärme gehöre, daran ist nicht zu zweifeln" (wonach er Guericke und Huygens nicht besonders gekannt haben konnte). Es war wohl schon die Vielheit der in Betracht kommenden Dinge unsicheren Gewichtes — Wärme, Licht, Phlogiston — die das Vordringen zum Verständnis überhaupt sehr erschwerte.

[2]) Sollte nicht bei Priestley auch berechtigte Abneigung mitgewirkt haben, vor Beibringung erschöpfender Beweisgründe die Gedanken eines Mannes für treffend zu halten, der — wie Lavoisier — so viel Unzutreffendes in bezug auf Tatsachen, den Ursprung von Entdeckungen betreffend, kundgab? (Man vergleiche in letzterer Beziehung die w. u. angemerkten Stellen in Kopp's Geschichte der Chemie.)

[3]) Auch Lavoisier legt das Hauptgewicht auf die Tatsachen, nur daß er es so scheinen läßt, als wären sie alle von ihm gefunden, während er sehr vielfach nur Berichte oder Abänderungen dessen bringt, was mündlich oder auf anderen Wegen von seinen Zeitgenossen, besonders von Black, Priestley, Cavendish und Scheele ihm bekannt wurde, oder schon veröffentlicht war. Ein besonderer, aber oft anzutreffender Irrtum ist es, den ernstlichen Gebrauch der Waage bei chemischen Forschungen mit Lavoisier beginnend zu denken. Denn nicht nur Black hat wesentlich aufklärende Untersuchungen mit der Waage ausgeführt, sondern sogar schon Boyle und vor ihm Andere haben die Gewichtsverhältnisse bei chemischen Umsetzungen, z. B. die Gewichtszunahme beim Kalzinieren (Oxydieren) von Metallen verfolgt. Selbstverständlich ist es, daß

sich dabei auf Grund der neuen Entdeckungen in der Tat Alles viel einfacher als man vorher zu denken wagte, und es bewährte sich auch weiterhin, daß man bei all den vielen Stoffarten, deren immer noch mehr entdeckt wurden, und bei allen ihren Veränderungen, Verbindungen und Trennungen stets nur mit Materie von unveränderlichem Gewicht zu tun habe, die bloß verschieden sich gruppiert. Wärme und Licht, die bei Scheele noch Untersuchungs-Gegenstand waren, gleich den Gasen mit welchen er sich beschäftigte, fielen so außerhalb des Gesichtskreises; die Chemie wurde die reine Wissenschaft von der inneren Zusammensetzung der greifbaren, wägbaren Materie. Daß die Wärme solche Materie nicht ist, zeigte wenig später Graf Rumford.

Wilhelm Scheele war in Stralsund geboren als siebentes Kind eines Kaufmannes; er wurde seinem Wunsche nach Apotheker und lebte als solcher in verschiedenen Orten Schwedens, zuletzt in Köpingen am Mälarsee, wo er schon in seinem 44. Lebensjahr verstarb. Schon mit 15 Jahren, als Apotheker-Lehrling, begann er in seinen Mußestunden — und wenn sie fehlten, des Nachts — besondere Studien sowohl in allen ihm zugänglichen Schriften über die Scheidekunst als auch mit eigenen Versuchen im Laboratorium der Apotheke. Diese Tätigkeit setzte er sein ganzes Leben hindurch fort; sie war seine ganze Freude und seine Hauptsorge: „Neue Phänomene zu erklären, dieses macht meine Sorgen aus, und wie froh ist der Forscher, wenn er das so fleißig Gesuchte findet; eine Ergötzung, wobei ihm das Herz lacht." „Es ist ja nur die Wahrheit, welche wir wissen wollen, und welche Freude bereitet es nicht, sie erforscht zu haben!" — sagt er selbst in Briefen. Waren seine Mittel auch immer nur bescheiden geblieben — erst in den letzten Jahren seines Lebens wurde er Besitzer einer eigenen Apotheke, und Angebote mit festem Gehalt, die ihn gebunden hätten, lehnte er ab —, so

der Gebrauch der Waage stark zunahm, nachdem die Unveränderlichkeit der Gewichte der Bestandteile bei den Umsetzungen wahrscheinlich geworden war, und daß nach der durch Scheele's und Cavendish's Entdeckungen gegebenen Erkenntnis der Zusammensetzung von Luft und Wasser, sowie der Salpetersäure, auch die Untersuchung anderer Stoffe, wie der Kohlensäure, Schwefelsäure, schnell erfolgreich wurde, was Lavoisier durchführte, ohne aber den Ursprung der Entdeckungen richtig anzugeben. Man vgl. zu all diesem im Einzelnen Kopp, „Geschichte der Chemie" (Braunschweig 1843), Bd. I, S. 302 bis 312; Bd. III, S. 204—206, 266—271. Kopp, der gründliche Geschichtskenner, sagt an letzterer Stelle mit Recht: „. . . aber die Geschichte hat nicht den Zweck, Lobreden zu halten, und es ist nicht ihre geringste und für unsere Zeit nicht ihre unnützeste Aufgabe, zu zeigen, wie jede Aneignung fremden Verdienstes sich doch später offenbart und für den, welcher seinen Ruhm so vergrößern wollte, die entgegengesetzte Wirkung hervorbringt". Man vergleiche auch eine vorhergegangene Anmerkung über Lavoisier und Black.

ersetzte er den Mangel durch Ausdauer, Geschick und einen seltenen Blick für das Wesentliche. Glücklich war für seine Entwickelung der Umstand gewesen, daß sein Geist von langem Schulzwang verschont geblieben war und daß ihm Fachprüfungen fern blieben[1]). So konnte er frisch und frei aufnehmen, was ihm gemäß war, ohne vorher zu Ungemäßem verbraucht worden zu sein. Bücher las er ein- oder zweimal durch, um ihrer dann nie wieder zu bedürfen; er hatte behalten, was er wollte. Die ungeheure Zahl von Experimenten, welche er seit früher Jugend durchführte, lediglich um ihre Ergebnisse zu sehen, deren er sich dann stets vortrefflich erinnerte, hatten in ihm einen Vorrat von Erkenntnissen und von Naturanschauung gesammelt, wie ihn kein geschulter Zeitgenosse besaß. Und da er nicht nach aufgestellten Prinzipien arbeitete, so bekam er Vieles zu sehen und konnte er Vieles entdecken, was ein Systematiker für unmöglich ansah, weil es gegen seine Prinzipien stritt.



Bild 24. Wilhelm Scheele.

Scheele's Entdeckung der „Feuerluft" — des Sauerstoffs nach heutiger Benennung — knüpft sich an die schon Leonardo und Guericke eigene Kenntnis, daß die gewöhnliche Luft zweierlei Bestandteile aufweise, deren einer das Brennen und Atmen unterhält (Feuerluft, Sauerstoff), während der andere dazu unfähig ist (Stickstoff). Eben die erstere Luftart gelang es Scheele abgesondert darzustellen. Er gewann sie aus Salpeter, aus Quecksilberoxyd und auch aus Braunstein und noch anderen Stoffen durch Erhitzen. Dabei, wie auch sonst bei Gasgewinnungen, band er an den Hals der Retorte, welche ins Feuer gesetzt wurde, eine vorher zusammengedrückte Schweinsblase, welche dann mit dem entwickelten Gas sich füllte. Erst wenn er das Gas näher untersuchen wollte, ließ er es unter Wasser in Glasgefäße aufsteigen. In diesen sah er dann das für die neue Gasart charakteristische, über-

[1]) Als er, schon bekannt als kundiger Chemiker und zuverlässiger Mann, seine eigene Apotheke übernahm, wurde ihm die dazu vorgeschriebene Prüfung in eine kleine Festlichkeit verwandelt. Man vergleiche zu all dem: Nordenskjöld, „Scheeles Briefe und Laboratoriums-Aufzeichnungen" mit Lebensbeschreibung, Stockholm 1892.

raschend glanzvolle Brennen von Kohle, Schwefel, Phosphor. Der brennende Phosphor verzehrte alle „Feuerluft", so daß bei Vornahme des Versuches in verschlossenem Gefäß ein Vakuum zurückblieb, wobei



Bild 25. Wilhelm Scheele.
(Nach dem Standbild von Börjeson.)

ein dünnwandiges Gefäß durch den äußeren Luftdruck sogar zertrümmert wurde. Der Phosphor und auch eine Lösung von Schwefelleber, die ebenfalls Sauerstoff völlig verzehrte, gaben ihm dann das Mittel,

den Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft zu bestimmen. Er fand auch, daß der Stickstoff ein geringeres spezifisches Gewicht hat als der Sauerstoff und stellte fest, daß letzterer mehr vom Wasser absorbiert wird als ersterer, was dem Atmen der Wassertiere zugute kommen müsse. Diese Arbeiten wurden in den Jahren 1766—1773 ausgeführt[1]), aber nach großen Druckverzögerungen erst 1777 veröffentlicht.

Aus dem Braunstein gewann Scheele nicht nur Sauerstoff, sondern er untersuchte ihn ganz eingehend. Dabei entdeckte er das Chlorgas (mit Salzsäure), studierte die Mangan-Verbindungen und entdeckte die im Braunstein meist enthaltenen, bis dahin noch unbekannt gewesenen Baryt-Verbindungen, die er auch als bestes Nachweismittel von Schwefelsäure erkannte.

Wie gründlich Scheele in allem vorging, zeigt auch seine dem Wasser gewidmete Untersuchung. Es wurde angenommen, daß reines Wasser bei anhaltendem Kochen in einen festen Stoff sich verwandle. Scheele hielt, „um mit Augen zu sehen", destilliertes Schneewasser in einem Glaskolben mit sehr langem Hals zwölf Tage und Nächte im Kochen. Das Wasser war milchig trübe geworden und bildete einen weißen Bodensatz. Scheele konnte aber nachweisen, daß sowohl der Bodensatz als auch die im Wasser gelöst sich zeigenden Stoffe nur Bestandteile des Glases waren, und daß der Kolben an seiner Innenfläche so weit das Wasser stand, matt geworden war. Es war also keine Verwandlung des Wassers, und die Kenntnis dieser Flüssigkeit war wieder etwas weiter gefördert.

Scheele untersuchte auch zuerst die verschiedenen Säuren des Pflanzenreichs, wie Weinsäure, Apfelsäure, Zitronensäure, Kleesäure, dann auch Harnsäure, Milchsäure, indem er sie durch Fällungen und Umsetzungen zu trennen wußte. Er entdeckte auch das Ölsüß (Glyzerin) als einen besonderen Stoff, den er als Bestandteil aller Fette zeigte und mit Bleiglätte aus ihnen abschied. Auch die Molybdänsäure und Wolframsäure entdeckte und studierte er als besondere Stoffe neben vielen anderen, hier nicht aufzuzählenden.

Eine andersartige Leistung Scheele's ist die Erkenntnis der Wärmestrahlung als einer besonderen Ausbreitungsweise der Wärme, verschieden von der altbekannten Wärmeleitung, wie in den Metallen, und von der schon von Black erkannten Wärmeausbreitung durch Strömung, wie in Flüssigkeiten. Daß Hohlspiegel und Linsen die Wärme

[1]) Die erste nachgewiesene Eintragung Scheeles über Sauerstoff in seinen nachgelassenen Laboratoriumsaufzeichnungen ist vom November 1772 (vgl. Nordenskjöld's oben genanntes Werk, S. 452—466). Bunsen bezeichnete in seinen Vorlesungen den Entdeckungstag des Sauerstoffs als den „eigentlichen Geburtstag" der Chemie.

der Sonnenstrahlen zugleich mit dem Licht im danach genannten „Brennpunkt" sammeln, dies wußte man schon sehr lange; jedoch durfte man dabei die Wärme im Brennpunkt für Wirkung des sichtbaren Lichts halten, und es war noch nicht erkannt, daß es auch unsichtbare Strahlen gebe, die wärmend wirken und auch sonst wie Licht sich verhalten. Dies machte Scheele durch eine Reihe einfacher Beobachtungen und Versuche am Feuer eines Ofens vortrefflich klar. Die Hitze des Feuers breitet sich durch Strömung mit der heiß gewordenen Luft in den Schornstein und auch ins Zimmer aus; aber sie breitet sich außerdem auch in geraden Linien aus, wie man durch Schirme nachweisen kann, und zwar ohne dabei die Luft zu erwärmen. Man kann diese „strahlende Hitze" auch durch einen Hohlspiegel sammeln und damit ziemlich weit vom Feuer Schwefel entzünden. Dabei ist es nicht das Licht des Feuers, das diese Wirkung hervorbringt; denn der Versuch gelingt ebenso, wenn nur dunkel glühende Kohlen da sind, und er gelingt nicht, wenn eine Glasscheibe zwischen das Feuer und den Hohlspiegel gesetzt wird, welche doch das Licht durchläßt. Es ist im letzteren Falle die Glasscheibe, welche erwärmt wird, offenbar weil sie zwar nicht das Licht, aber die „strahlende Hitze" verschluckt. Später (im Jahre 1800) fand W. Herschel (der Entdecker des Planeten Uranus), daß die von Scheele entdeckten unsichtbaren, wärmenden Strahlen bei der Brechung im Prisma außerhalb des sichtbaren Spektrums fallen, da sie weniger gebrochen werden als das rote Licht. Man nannte sie später passend Ultrarot.

Scheele untersuchte auch die schon früher bekannt gewesene Schwärzung von Silberverbindungen am Licht; er wies nach, daß die Schwärze fein verteiltes Silber ist[1]). An reinem Chlorsilber beobachtete er die Schwärzung im Sonnenspektrum, das er mit einem Glasprisma entwarf, und er fand, daß sie im Violett stärker ist als in den andersfarbigen Lichtern. Als J. W. Ritter in Jena den Versuch im Jahre 1802 in etwas verfeinerter Weise wiederholte, bemerkte er, daß die Schwärzung noch wesentlich über das violette Spektralende hinausgeht; er entdeckte so das unsichtbare Ultraviolett.

Joseph Priestley war in einem Dorfe nahe Leeds an der Ostküste Englands geboren; er wurde Geistlicher und war abwechselnd als Prediger und Lehrer tätig, nebenher aber stets mit naturwissenschaft-

[1]) Die Lichtbildkunst (Photographie) hat sich aus dieser Grundkenntnis durch Beibringung von allerlei Kunstgriffen in stets zunehmender Verfeinerung herausgebildet, ohne daß dabei grundsätzlich neue Erkenntnisse hinzugekommen wären. Die erste Festhaltung („Fixierung") des Linsenkammerbildes bei abgekürzter Belichtung (mit „Entwickelung") gelang 1838 dem Maler Daguerre in Paris.

lichen Studien beschäftigt. Seine Auffassung vom Christentum unterschied sich wesentlich von der im Lande herrschenden, und dies verschaffte ihm viele Feinde[1]). Als im Jahre 1791 der zweijährige Gedenktag des Ausbruches der französischen „Revolution" gefeiert wurde (deren tiefste Antriebe Priestley sicher unbekannt waren), äußerte er unverhohlen seinen Beifall, und dies gab seinen Feinden den Anlaß, sein Haus und Laboratorium nahe Birmingham, wo er damals lebte, durch aufge-

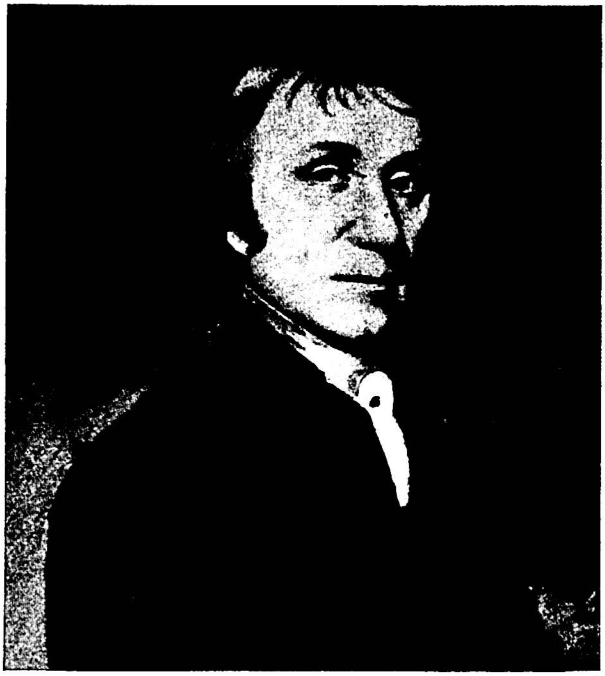


Bild 26. Joseph Priestley[2]).

hetzte Volksmassen zerstören, plündern und in Brand stecken zu lassen. Priestley rettete kaum sein und seiner Familie Leben, fand keinen genügenden Schutz mehr in seiner Heimat und wanderte nach Amerika aus, wo er 9 Jahre später im Alter von 71 Jahren starb. Bei all dem hatte er treue Freunde unter den Besten Englands, den Wenigen, die ihn wirklich kannten; hierzu gehörten Boulton, Watt (der beinahe

[1]) Er hatte auch ein Werk veröffentlicht, betitelt „History of the corruptions of Christianity", 1782 (mündlich schon früher von ihm vorgetragen), worin er mit viel Bemühen mehr Wahrheit über Leben und Lehre des Religionsstifters zu ergründen suchte, als gewöhnlich zur Geltung kam.

[2]) Nach dem Pastellbild in der Nat. Portr. Gall. in London.

auch geplündert worden wäre) und andere Hervorragende aus den Kreisen der Industrie, Wissenschaft und Kunst in und nahe Birmingham, die zusammen die „Lunar Society“ bildeten (auch „Lunatic society“, Gesellschaft der Mondsüchtigen genannt, da sie jedesmal bei Vollmond zusammenkamen), innerhalb deren auch Vieles über die damaligen Fortschritte der Naturforschung eifrig besprochen wurde. Priestley war in Vielem sehr ähnlich Boyle: ein unbedingter Wahrheitsucher und Wahrheitverteidiger, befriedigt allein schon durch die Freude an neuen Erkenntnissen und Beobachtungen, von jugendlichem Eifer bei allem, was er unternahm, und tief religiös[1]).

Seine Studien an den Gasen begann er im Anschluß an Black's Arbeiten mit der Kohlensäure, die er aus einer Brauerei entnahm. Er führte zuerst die Absperrung der Gase über Quecksilber ein statt über Wasser, was ihn instand setzte, viele Gase als besondere Stoffarten zu erkennen und zu studieren, die vorher wohl schon gelegentlich aufgetreten sein mochten, ohne aber doch genügend festgehalten und beachtet zu werden, so — in gegenwärtiger Benennungsweise — Stickoxyd, Stickoxydul, Kohlenoxyd, Ammoniak, schweflige Säure, Salzsäuregas, Fluorkieselgas. Man hat ihn demnach als deren Entdecker zu bezeichnen. Sauerstoff, auch Schwefelwasserstoff, waren schon von Scheele entdeckt, wie oben geschildert, doch Priestley — dessen Veröffentlichung (1774 in seinem Werk über die Luftarten) früher erfolgte — wohl unbewußt.

Priestley war es auch, der nachwies, daß die Pflanzen Kohlensäure verbrauchen und dafür Sauerstoff hergeben, wodurch die Luft in ihrer Zusammensetzung stets gleich und zum Atmen brauchbar erhalten wird. Daß diese Wirkung nur in Gegenwart des Tageslichtes vor sich geht, wurde dann allmählich auch klar. Er untersuchte auch die von einer Glocke erregte Schallstärke in verschiedenen Gasen, und findet sie in Wasserstoff sehr gering, in Kohlensäure deutlich größer als in Luft.

Henry Cavendish gehörte einer der ältesten und begütertsten Familien Englands an; er hatte seinen Wohnsitz fast dauernd in London und lebte in Einsamkeit und größter Zurückgezogenheit ausschließlich der Wissenschaft.

Cavendish entdeckte 1766, also schon vor Scheele's und Priestley's Gasuntersuchungen, das Wasserstoffgas als besonderen, von der gewöhnlichen Luft gänzlich verschiedenen Körper. Es war das, nach

[1]) Priestley's Lebenslauf, Denk- und Arbeitsweise findet sich von ihm selbst und seinem Sohne dargestellt in den „Memoirs“, London 1806.

der schon von Black gehörig untersuchten Kohlensäure, die zweite von der atmosphärischen Luft als grundverschieden erkannte Gasart. Wohl wußte man schon lange, daß Eisen in Säuren unter Aufbrausen sich löst, und Boyle bemerkte bereits die Entzündlichkeit der aufsteigenden Luftart, ohne sie aber weiter zu untersuchen. Dies führte Cavendish mit großer Gründlichkeit durch. Er bemerkt und bestimmt auch zuerst das so auffallend geringe spezifische Gewicht, wobei er auch Temperatur und Druck berücksichtigt[1]), mißt die Gasmengen, welche gegebene Gewichte von Eisen, Zink, Zinn beim Auflösen in verschiedenen Säuren entwickeln, untersucht die explodierenden Mischungen aus Wasserstoff und Luft und vieles Andere zur Kenntnis dieses Gases.

Er untersuchte später auch die gasförmigen Verbrennungsprodukte verschiedener Stoffe und findet, daß Kohlensäure nur beim Verbrennen pflanzlicher und tierischer Stoffe auftritt.

Im Jahre 1773 führte er elektrische Untersuchungen aus, die ihn bis zum Kraftgesetz des verkehrten Entfernungsquadrates und sogar bis zur Erkenntnis einer „Dielektrizitätskonstante" (wie wir heute sagen) brachten, was er aber Alles unveröffentlicht ließ[2]). Es sind dies Untersuchungen, die erst mehr als 10 Jahre später Coulomb, beziehlich mehr als 60 Jahre später Faraday neu aufnahmen und durchführten. Kaum etwas Anderes könnte — neben den bekanntgegebenen Erfolgen — Cavendish als Forscher höher einschätzen lassen, als dieses Voranschreiten sowohl, wie die damit verbundene Zurückhaltung der ihn offenbar noch nicht voll befriedigenden Ergebnisse.

Von größter Wichtigkeit war Cavendish's im Jahre 1781 gemachte Entdeckung, daß Wasserstoff und Sauerstoff miteinander verbrennend Wasser bilden, wobei er zeigte, daß das Gewicht des entstehenden Wassers gleich ist dem Gewicht der beiden verschwundenen Gasarten zusammen. Das höchst unerwartete, erstaunliche Ergebnis von Wasserentstehung aus diesen neuentdeckten Gasen wurde schnell weithin bekannt, nachdem Cavendish es zuerst selbst Priestley mitgeteilt hatte; es war der Schlüssel zur endlichen Erkenntnis von der Zusammensetzung des Wassers, das man so lange Zeit hindurch, von Alters her, für einen einfachen Grundstoff gehalten hatte. Von da ab begann man auch schnell die Bestandteile anderer, ebenfalls aus Gasarten sich zusammensetzender Körper zu ergründen.

[1]) Bald danach machte Black darauf aufmerksam, daß dünne, mit diesem Gas gefüllte Hohlkugeln in die Luft aufsteigen würden. 17 Jahre später wurde dies von Charles, Professor der Physik in Paris, in großem Maßstabe verwirklicht, womit unsere heutigen Luftschiffe ihren Ursprung nahmen.

[2]) Siehe Maxwell, „Papers" II, S. 612 und „Treatise on Electricity and Magnetism", 1892, Vol. I, S. 80ff.

Cavendish lieferte hierzu einen weiteren wesentlichen Beitrag, indem er zeigte (1784), daß Sauerstoff und Stickstoff, in gehörigem Verhältnisse gemischt, bei dauerndem Durchschlagen elektrischer Funken verschwinden, während Salpetersäure entsteht. Eben als Bestandteil von Säuren erhielt Scheele's „Feuerluft" später den Namen Sauer-



Bild 27. Henry Cavendish.

stoff. Bemerkenswert ist, daß Cavendish bereits angibt, daß ein gewisser Rest des Gemisches aus Luft und Sauerstoff auch bei langem Durchschlagen der Funken unveränderlich sich zeigt und übrig bleibt: Es war dies der erst mehr als 100 Jahre später als ein besonderer Stoff erkennbar gewordene, dann Argon genannte, dem Stickstoff so sehr ähnliche regelmäßige Bestandteil der atmosphärischen Luft.

Eine ganz andersartige Untersuchung von großer Wichtigkeit, die erst recht nur mit feinster quantitativer Beobachtungskunst durchführbar war, beschäftigte Cavendish in seinen späteren Jahren, bis 1798; es war die Messung der Erddichte. Noch besser gesagt, war es die erste Feststellung nicht nur, sondern auch die Messung der Gravitationskraft zwischen zwei irdischen Massen von so geringer Größe, daß beide im Raum eines Zimmers untergebracht werden konnten. Daß je zwei beliebige Massen eine Anziehungskraft aufeinander ausüben, welche nach Newton's Gesetz von den Größen der Massen und ihrem gegenseitigen Abstande abhängt, war zwar nach Newton's Untersuchungen kaum mehr zu bezweifeln. Doch auf nachgeprüftes Wissen kommt es an, und der Nachweis der Kraft, welche nach eben diesem Gesetze bei zwei nicht sehr großen Massen sehr klein sein müßte und daher stets unmerklich geblieben war, war ein wichtiges Schlußstück zur Erkenntnis der Gravitation. Umgekehrt mußte weiter die Messung einer solchen Kraft im Falle zweier durch Wägung gut festgestellter Massen das Mittel geben, die Masse der Erdkugel mit Sicherheit in derselben Einheit anzugeben, in welcher die zwei Massen gewogen waren. Bei Newton dagegen bildete die Masse der Erde die Einheit, mit der die Massen der anderen Himmelskörper gemessen wurden, die selbst aber unbekannt blieb und nur nach einer angenommenen mittleren Dichte des Stoffes der Erdkugel geschätzt werden konnte. Jetzt sollte diese Dichte mit Sicherheit als Quotient aus Gesamtmasse und Gesamtvolum der Erde berechenbar werden.

Um die zu erwartende, sehr kleine Kraft zu messen, wandte Cavendish eine sehr einfache Vorrichtung an, die Drehwaage, die nicht lange vorher von Coulomb schon zu einer anderen, ebenso wichtigen Untersuchung benutzt worden war. Sie bestand aus einem langen, dünnen Draht, an welchem ein leichter horizontaler Stab hing, an dessen beiden Enden je eine Bleikugel befestigt war. Neben diese beiden beweglichen Bleikugeln konnten zwei größere Bleikugeln gebracht werden, so daß deren auf die kleineren ausgeübte Anziehung eine Ablenkung des Stabes unter Drillung des Aufhängedrahtes hervorbringen mußte. Die Messung der kleinen Ablenkung war schwierig; der kleinste Luftzug konnte sie unmöglich machen. Es wurde daher der Apparat durch eine Wandöffnung vom Nachbarraum her mit dem Fernrohr beobachtet, und auch sonst bewies Cavendish größte Umsicht bei dieser ersten, jemals ausgeführten Messung so außerordentlich kleiner Kräfte. Sein Ergebnis für die mittlere Erddichte, nahe 5·5 gr/cm^3, ist durch viele spätere Messungen nach teilweise sehr verändertem Plane durchaus bestätigt. Es bedeutet, da die mittlere Dichte aller an der Erdoberfläche befindlichen Stoffe sehr viel kleiner ist, daß im Erdinneren besonders schwere

Stoffe, also wohl Metalle, überwiegen müssen. Bei ursprünglich feurig-flüssigem Zustand der Erde ist es auch zu erwarten, daß die schwersten Stoffe gegen den Erdmittelpunkt sich begeben haben, doch weiß man aus der gefundenen Erddichte, daß sie dort tatsächlich in erheblicher Menge vorhanden sein müssen.

Charles Augustin Coulomb (1736—1806) und seine Vorgänger.

Mit Coulomb beginnt die schon seit früheren Zeiten herangedämmerte Kenntnis von sonderbaren „elektrischen" und „magnetischen" Erscheinungen zu einer Wissenschaft sich zu entfalten; denn er hat die ersten quantitativen Gesetzmäßigkeiten für beide Erscheinungsgruppen festgestellt: die beiden „Coulomb'schen Gesetze". Von da ab folgte eine rasche und ganz ungeahnte weitere Entwicklung, indem einerseits das schon bruchstückweise über elektrische Erscheinungen Erkannte zur vollendeten „Elektrostatik" (Lehre von der ruhenden Elektrizität) sich abrundete, andererseits für den Magnetismus die Grundlage gegeben war, auf der später Gauß und Weber weiterbauen konnten. Dies führte dann zur quantitativen Beherrschung aller elektrischen und magnetischen Größen, die in der Errichtung des heute allgemein gebrauchten Einheitssystems ihren Ausdruck findet, in welchem — in Anerkennung dieser Zusammenhänge — die technische Einheit der Elektrizitätsmenge nach Coulomb benannt ist.

Coulomb's Gesetz von den Elektrizitäten gibt die Kräfte an, mit welchen diese sich anziehen oder abstoßen, und sagt, daß diese Kräfte stets proportional den aufeinander wirkenden Mengen[1]) und verkehrt proportional dem Quadrate ihres gegenseitigen Abstandes sind. Vollkommen ähnlich ist auch Coulomb's Gesetz für den Magnetismus. Die Gesetze sind somit beide vollkommen analog Newton's gerade hundert Jahre früher erkanntem Gravitationsgesetz. Trotz ihrer Einfachheit und jener Ähnlichkeit mit Alt-Bekanntem war die Erkennung und zweifelsfreie Nachweisung der Gesetze doch damals ein besonderes Meisterstück der Experimentierkunst nicht nur, sondern es gehörte dazu vor

[1]) Die Mengenproportionalität weist Coulomb nicht durch besondere Versuche nach, sondern er nimmt die Kräfte von vornherein als Maß der „Mengen" der an sich unbekannten „Elektrizitäten" und „Magnetismen" an, nicht ohne aber durch zahlreiche Versuche, z. B. über Teilung von Elektrizitätsmengen zwischen einander berührenden Leitern, die widerspruchsfreie Durchführbarkeit dieser Annahme genügend zu erweisen.

allem die Aufspürung des Weges, auf welchem den sonderbaren elektrischen und magnetischen Erscheinungen maßmäßig beizukommen ist, um auch auf sie Pythagoras' alte Erkenntnis — die Macht der Zahl — wirken zu lassen. Die Kräfte, die hier zu messen waren, sind sehr klein, und sie sind sehr flüchtig, insofern die Elektrizitäten selber es sind, die, wie Coulomb erst fand und auch nachmaß, sogar in die Luft sich zerstreuten.



Bild 28. Ch. A. Coulomb.

Zur Messung kleinster Kräfte arbeitete Coulomb das besondere Verfahren der „Drehwaage" aus, das seither in einer Unzahl von feinsten Meßinstrumenten (Galvanometer, Elektrometer usw.) nutzbar gemacht ist, die alle darauf beruhen, die zu messenden Kräfte Drillung eines sehr dünnen Fadens oder Drahtes hervorbringen zu lassen, indem sie an einem Hebelarm angreifen, der an dem Faden oder Draht horizontal aufgehängt ist. Die Größe des eintretenden Drillungswinkels, bei welchem die zu messende Kraft mit der zurückdrehenden Kraft des elastischen Fadens im Gleichgewicht ist, ist dann das Maß der Kraft. Dazu mußte

Coulomb vor allem die Gesetze der Drillkraft von Fäden oder Drähten ermitteln. Er fand sie proportional dem Drillwinkel sowie der vierten Potenz des Durchmessers des Drahtes, verkehrt proportional dessen Länge und unabhängig von der Belastung des Drahtes. Es war dies das Ergebnis einer an sich, für die Erkenntnis der elastischen Eigenschaften der Materie wichtigen Untersuchung, die er im Jahre 1784 veröffentlichte. Von Interesse ist dabei auch die Art der Kraftmessung, die er zu Hilfe nahm: Coulomb läßt einen an dem Drahte aufgehängten Körper Drehschwingungen um den Draht als Achse ausführen und mißt die Schwingungsdauern bei verschiedenen Trägheitsmomenten des aufgehängten Körpers, woraus die die Schwingungen treibende Drillkraft berechenbar ist. Es war dies eine damals neuartige, erstmalige Anwendung von Huygens' und Newton's Pendeluntersuchungen zur Messung anderer Kräfte als der der Schwere. Coulomb hat übrigens diese Kraftmessung durch Schwingungen („dynamische" Kraftmessung, im Gegensatz zur „statischen" mit der Drehwaage) auch unmittelbar in zahlreichen Versuchen auf die elektrischen und magnetischen Kräfte angewandt. Der erste, der ihm in dieser Kraftmeßweise sowie auch in der Anwendung der Drehwaage folgte, war Cavendish bei seiner wichtigen Gravitationsuntersuchung.

Coulomb war auch in anderen Richtungen tätig. Er hat die einfachen Gesetze der gleitenden Reibung vollständig ergründet, wonach sie proportional der Kraft ist, mit welcher die reibenden Körper aufeinander gepreßt sind, unabhängig von der Größe der reibenden Fläche — was schon Leonardo erkannt hatte — und in gewissen Grenzen unabhängig von der Geschwindigkeit der Bewegung, jedoch vergrößert in der Nähe der Ruhe. In einer seiner letzten Arbeiten (1801) untersuchte er die schon von Newton betrachtete innere Reibung in Flüssigkeiten mittels Drehschwingungen, die er aufgehängte Zylinder in den Flüssigkeiten ausführen ließ.

Er stammte aus einer vornehmen Familie Südfrankreichs, studierte in Paris Mathematik und Naturwissenschaft und trat dann in den Heeresdienst. Seiner Neigung und Befähigung gemäß gehörte er den technischen Truppen an. Als Offizier derselben leitete er in 9jährigem Aufenthalt auf Martinique die dortigen Festungsbauten. Nach seiner Heimkehr, 1776, fand er zum ersten Mal Muße zu rein wissenschaftlicher Arbeit und in die nun folgenden 13 Jahre bis zum Ausbruch der „großen Revolution" fallen auch seine grundlegenden elektrischen und magnetischen Untersuchungen. Sie brachten ihm Anerkennung, militärische Beförderung, die Mitgliedschaft der Akademie und eine einflußreiche Stellung im Unterrichtswesen, nicht ohne daß allerdings gelegentlich auch Schwierigkeiten eingetreten wären; so wird berichtet, daß er zu Arrest

verurteilt wurde, als ein rücksichtsloses technisches Gutachten ihn bei höheren Regierungsstellen mißliebig gemacht hatte. Als die Schwäche des Königs immer größer und offenbarer geworden und die Herrschaft der Minderrassigen angebrochen war (Erstürmung der Bastille, Verkündung der „Menschenrechte", 1789), legte Coulomb seine sämtlichen Ämter nieder und zog sich auf sein kleines Landgut bei Blois zurück, wo er ganz der Wissenschaft und seiner Familie lebte[1]). Erst Napoleon, der wieder Ordnung geschaffen hatte, setzte ihn 1800 in seine früheren Tätigkeiten wieder ein, denen er dann bis zu seinem im Alter von 70 Jahren zu Paris erfolgten Tode gewidmet blieb.

Man schätzt Coulomb's grundlegende Leistung in bezug auf Elektrizität und Magnetismus am besten ein, wenn man sich vergegenwärtigt, wieviel bis dahin schon im Einzelnen bekannt geworden war, ohne aber noch zusammenfassend überblickbar zu sein. Es sind dabei auch — gewissermaßen als Coulomb's Vorgänger — mehrere hervorragende Naturfreunde zu nennen, die als eindringende Experimentatoren und klare Geister immer weitere neue Erscheinungsformen der Elektrizität schon zu Tage gefördert hatten. Dies Alles sah „den Wirkungen einer Zauberkraft ähnlich", wie Priestley sich ausdrückte[2]); durch Coulomb wurde es plötzlich einem einheitlichen Verständnis näher gerückt, insofern nun Alles gänzlich auf das Wirken der — allerdings nicht minder wunderbaren — zwei Elektrizitäten und zwei Magnetismen nach jenem Entfernungsquadrat-Gesetz zurückführbar sich zeigte.

Die erste Kenntnis von „magnetischen" und „elektrischen" Erscheinungen ist alten Ursprungs. Der „Magnet"-Eisenstein (wohl nach dem Fundort, der Stadt Magnesia in Lydien, so genannt), mit seiner Eigenschaft, kleine Eisenteile anzuziehen, und die ähnliche Eigenschaft geriebenen Bernsteins (bei den Griechen „Elektron" genannt), leichten Körperchen gegenüber, waren schon lange vor unserer Zeitrechnung bekannt. Auch verfertigte man durch Streichen mit Magneteisenstein künstliche „Magnete" aus Stahl und man wußte früh, daß geeignet beweglich gemachte Magnete die Nord-Südrichtung weisen, was für die Schiffahrt auf freiem Meere von höchster Wichtigkeit war. Man bemerkte dann auch die kleine Abweichung, „Deklination" ge-

[1]) Er verhielt sich hierin entgegengesetzt seinem Zeitgenossen Lavoisier, der den Leitspruch der Umstürzler sich zu eigen machte: „Il faut tout détruiere — oui. tout détruiere —, parcequ'il faut tout recréer" („es muß alles zerstört werden, ja, alles zerstört, weil alles neu geschaffen werden muß"), dabei aber selber unter das Fallbeil kam.

[2]) In seiner „Geschichte der Elektrizität", 1767.

nannt, welche zwischen der Richtung der Magnetnadel und der genauen Nord-Südrichtung besteht. Columbus nahm auf seiner Fahrt nach Westen wahr, daß die im Mittelmeer damals östliche Deklination allmählich sich umgekehrt hatte und zunehmend westlich wurde, was ihn bei der völligen Unkenntnis der Ursache mit großer Besorgnis erfüllen mußte; denn es gab bei bedecktem Himmel keinen Wegweiser für ihn, außer der Magnetnadel.

Erst im Jahre 1600 war ein weiterer Fortschritt erreicht. Gilbert, der Arzt der Königin Elisabeth von England, hatte eingehende Versuche mit Magnetsteinen und künstlichen Magneten angestellt, ja er war es, der sich diesen Erscheinungen zum ersten Mal als ein Naturforscher genähert hat. Er fand unter vielem anderen, was erst nach Coulomb zu voller Geltung kommen konnte, daß, obgleich die magnetischen Kräfte von den „Polen" ausgehen, deren jeder Magnet zwei hat und von denen die nach gleicher Himmelsrichtung weisenden einander abstoßen, die entgegengesetzten aber einander anziehen, doch niemals ein einzelner Pol für sich abgetrennt erhalten werden kann. Denn zerbricht man einen Magnetstein oder künstlichen Magnetstab, so zeigt jedes Bruchstück wieder zwei Pole, die in denselben Richtungen liegen wie die Pole des ursprünglichen Magneten. Außerdem erkannte er bei Aufsuchen der Pole mit Hilfe einer kleinen aufgehängten Nadel, daß sie niemals Punkte sind, sondern stets mehr oder weniger ausgedehnte Gebiete an den Magneten, von welchen die Anziehungen oder Abstoßungen ausgehen. Diese Tatsachen, die auch Coulomb bei seinen Untersuchungen eingehend zu berücksichtigen hatte und die überhaupt zu größter Vorsicht mahnen mußten, so oft man auf Rechnungen mit „Magnetismen" oder „magnetischen Fluiden" einging, die an bestimmten Raumstellen sitzen und Träger der Kräfte sein sollten, konnten erst mehr als 200 Jahre später, nach Ampère und Faraday zu besserem Verständnis kommen; um so mehr ist ihre vollkommen klare Aufdeckung zu so früher Zeit, durch Gilbert, bewundernswert. Ebenso ist es mit Gilbert's Erkenntnis, daß die Erde ein großer kugelförmiger Magnet sei, womit sogleich ein in großen Zügen zutreffendes, verständliches Bild vom Verhalten der Magnetnadel, einschließlich ihrer „Inklination" (Abweichung von der Horizontalen, wenn sie im Schwerpunkt aufgehängt ist), an allen Punkten der Erdoberfläche gegeben war.

In bezug auf die elektrischen Erscheinungen schritt Gilbert nur insoweit vor, als er nächst dem Bernstein noch eine Reihe anderer Stoffe aufzuzählen vermochte — so Edelsteine, wie Diamant und Saphir, dann Glas, Schwefel, Harze —, die auch beim Reiben „elektrisch" werden, und daß er nicht nur die Ähnlichkeit der elektrischen und magnetischen Kräfte, sondern auch ihre ganz bestimmte Verschiedenheit klar erkannte.

Es folgte dann 70 Jahre später Guericke's erster Schritt zu einer Elektrisiermaschine, Leibnizens Beobachtung elektrischer Funken damit — von wo ab bald die Gewitter mit wachsender Sicherheit als elektrische Erscheinungen betrachtet wurden —, Guericke's Entdeckung, daß es auch elektrische Abstoßung gebe, nicht nur Anziehung, sowie Boyle's Feststellung, daß die elektrischen wie die magnetischen Kräfte auch durchs Vakuum der Luftpumpe wirken.

Wieder etwa 60 Jahre später erkannte Stephen Gray in London, daß man „Elektrizität" fortleiten könne; daß es Leiter und Nichtleiter dafür gebe. Er führte die Fortleitung auf allmählich immer vergrößerte Abstände durch; im Jahre 1729 benutzte er eine mehrere hundert Fuß lange, mit Seidenfäden unterstützte Hanfschnur, die von einer geriebenen Glasstange bis zu einer Elfenbeinkugel führte, an der dann die Anziehungserscheinungen beobachtet werden konnten. Seither konnte man vom „Fließen" der Elektrizität längs den Leitern sprechen, und sie wurde nun erst recht als ein „Fluidum" bezeichnet. Gray stellte auch zum ersten Mal mit Elektrizität zu „ladende" Dinge oder auch Personen auf einen „Isolierschemel", einen Harzkuchen, und er erkannte, daß ein hohler geladener Holzwürfel ganz wie ein voller von gleicher Größe sich verhielt, woraus zu schließen war, daß die Elektrizität bloß die Oberfläche, nicht das ganze Innere der Körper zum Sitz habe. Bemerkenswert ist auch seine Beobachtung gegenseitiger Nichtstörung elektrischer und magnetischer Kräfte: Ein von einem Magneten gehaltener Schlüssel konnte isoliert und elektrisiert werden, und er zog ganz ebenso die leichten Probekörperchen an, wie ohne den Magneten.

Nicht viel später, 1733, machte Dufay in Paris die höchst wesentliche Entdeckung, daß es zweierlei Elektrizitäten gebe, die einander entgegengesetzt sich verhalten und die deshalb auch „positiv" und „negativ" benannt wurden. Er fand, daß mit Glas elektrisiertes Goldblatt, das in der Luft schwebte, von geriebenem Harz nicht abgestoßen, sondern angezogen wird, und er verfolgte den Gegenstand eingehend; doch dauerte es eine Weile, bis sein Fund anerkannt wurde.

Zehn Jahre später kam eine neue Beobachtung hinzu. Mit der allmählichen Verbesserung der Elektrisiermaschinen kam man ziemlich selbstverständlich dazu, den Versuch zu machen, die nun in reichlicher Menge verfügbare Elektrizität auf isolierende Fläschchen zu füllen. Ewald Jürgen von Kleist, Domdekan (später Vorsitzender des Hofgerichtes, aus der Familie unseres Dichters Heinrich von Kleist) in Pommern, elektrisierte einen in ein (innen wohl etwas feuchtes) Medizinglas gesteckten Nagel und erhielt einen heftigen Schlag, als er, das Glas mit der einen Hand haltend, den Nagel mit der anderen Hand anfaßte. Die Wirkung

wurde noch verstärkt, wenn die Flasche Alkohol oder Quecksilber enthielt. Diese im Jahre 1745 gemachten Beobachtungen wurden schnell nach verschiedenen Seiten hin bekannt gegeben und erregten großes Staunen. Ein Jahr später kam man in Leyden, in Holland, auf den gleichen Versuch, und daher wurde die „Verstärkungsflasche", mit der nun sehr Viele zu experimentieren begannen, „Leydener Flasche" genannt; historisch richtig würde sie „Pommersche oder Kleist'sche Flasche" heißen[1]). Man versah sie bald mit metallischen Belegungen und beachtete viel die Schläge, die sie erteilte, und ihre Funkenwirkungen. Benjamin Franklin zeigte 1747, daß die beiden Belegungen entgegengesetzte Elektrizitäten enthalten. Er bemerkte auch, indem er die Belegungen abnehmbar machte, daß auch die bloßen Glasoberflächen entgegengesetzt elektrisch sich zeigten. Man hielt diese, über die Rolle des Isolators hinausgehende Mitwirkung des Glases (heute als „Rückstandsbildung" mehr in den Hintergrund getreten) damals für wesentlich, bis Wilcke und Aepinus, zwei Mecklenburger, im Jahre 1762 zeigten, daß die „Verstärkungswirkung" auch ganz ohne Glas vorhanden ist. Sie überzogen zwei große Bretter mit Blech, hingen sie parallel zu einander in geringem Abstand isoliert auf, luden das eine positiv, während das andere ableitend berührt war, und fanden, daß dann beide entgegengesetzt geladen sich zeigten und bei gleichzeitiger Berührung mit den Händen einen Schlag erteilten, gleich dem einer „Leydener Flasche". So brachten sie auch die heute „Influenz" genannte Erscheinung schon in gewissem Maße ins Klare, und Wilcke stellte auch schon mittels einer geriebenen Glastafel und einer Metallplatte Versuche an, die ganz den etwas späteren von Volta mit dem „Elektrophor" entsprachen, und die die Möglichkeit zeigten, mittels Influenz beliebige Vermehrung einer einmal vorhandenen Ladung hervorzubringen, wie es heute in der „Influenzmaschine" geschieht.

Doch war immer noch die Vorstellung von der Einwirkung der beiden Elektrizitäten aufeinander und auf ihresgleichen sehr unbestimmt, und ebenso auch die Rolle der Materie der geladenen oder ungeladenen Körper bei den Kraftwirkungen, besonders falls es nur einerlei Elektrizität gäbe (die positive) und die andere (die negative) bloß Mangel an dieser wäre, was zu keiner Zeit abzuweisen war. Man sprach von einer „elektrischen Atmosphäre", welche jeder geladene Körper um sich verbreite oder von einem „elektrischen Wirkungskreis", und ähnlich war es bei den Magnetismen. Demgegenüber war es eine große Vereinfachung, und eine Übertragung von Unbestimmtem ins durchaus Bestimmte, als Coulomb nach etwa 20 Jahren solcher Ungewißheit seine Gesetze ver-

[1]) Man findet in älteren Schriften in der Tat den Namen „Kleist'sche Flasche", und man kann ihn wieder aufnehmen.

künden konnte, die in der Tat genügend sich zeigten, um sämtliche Erscheinungen der ruhenden (nach dem Fließen längs Leitern ins Gleichgewicht gekommenen) Elektrizität (die „Elektrostatik") quantitativ zu erfassen und auch die Lehre vom Magnetismus über Gilbert hinausgehend fest zu begründen. Selbst Faraday's 50 Jahre spätere Entdeckung von einem tatsächlich wesentlichen Einfluß der die Leiter umgebenden Isolatoren brachte nur eine Stoffkonstante (die „Dielektrizitätskonstante") zu Coulomb's elektrischem Gesetz, ohne dessen Form zu ändern. Coulomb hat auch selbst sehr weitgehend eine Reihe von Erscheinungen der ruhenden Elektrizität, so besonders die Verteilung der Elektrizität auf Leitern verschiedener Formen (besonders Kugelreihen und Zylindern) untersucht, wobei er, neben der Drehwaage als Meßinstrument, auch zum ersten Male eines „Probescheibchens" sich bedient, das die an bestimmter Stelle eines Leiters sitzende Elektrizitätsmenge gewissermaßen abhebt und also meßbar macht. Vor allem bestätigt Coulomb in sehr verfeinerter Weise, was schon Gray bemerkt hatte: daß die Elektrizität nur an den äußeren Oberflächen der Leiter sitzt, und er bemerkt, daß auch dies eine Folge des Entfernungsquadratgesetzes ist und nur bei genauer Geltung desselben zutreffen kann. Nach jedem anderen Gesetz würden im Inneren der Leiter noch Kräfte übrig bleiben, die die Elektrizität in Bewegung setzten und die Verteilung änderten, was schon nach Newton's Überlegungen, die Gravitation betreffend, zu schließen war. Er weist auch den Zusammenhang der Elektrizitätsverteilung mit der Krümmung der Oberfläche und die damit zusammenhängende Spitzenwirkung nach.

Zu bemerken ist, daß Coulomb in bezug auf die Erkenntnis, daß allein schon aus dem Oberflächensitz der Elektrizität auf ihre Kraftwirkung nach dem Entfernungsquadratgesetz zu schließen sei, in Cavendish einen Vorgänger hatte; jedoch hatte Cavendish seine hierauf bezüglichen, schon 1773 durchgeführten Beobachtungen und Überlegungen unveröffentlicht gelassen; sie wurden erst sehr spät aus seinen nachgelassenen Papieren herausgegeben[1]).

Luigi Galvani (1737—1789) und Alessandro Volta (1745—1827).

Kaum waren durch Coulomb die Erscheinungen der ruhenden Elektrizität überblickbar und in zunächst befriedigender Weise verständlich geworden, so eröffnete sich durch Galvani's und Volta's

[1]) Siehe die Anmerkung hierzu bei Cavendish, S. 136.

ganz unerwartete Entdeckungen ein neuer Weg. Eine neue Quelle der Elektrizität wurde gefunden, außerordentlich viel reicher fließend als die bisherige, die Reibung, und die von ihr abgeleitete, die Influenz. Volta's Säule trat an Stelle der Elektrisiermaschine. Ein neues Hilfsmittel zu völlig ungeahnten Erkenntnissen war damit gegeben; es wurde möglich, jetzt auch Erscheinungen der fließenden Elektrizität zu studieren, da das Mittel gegeben war, große Elektrizitätsmengen anhaltend fließen zu lassen, während bisher nur winzig kleine Mengen oder in Kleist'sche Flaschen aufgehäufte etwas größere nur auf Augenblicke in Bewegung kamen, so daß die damit verbundenen Vorgänge allzumeist verborgen geblieben waren. In der Entdeckung und Auswertung dieser Vorgänge besteht aber geradezu alles, was jetzt das „Zeitalter der Elektrizität" zu bieten hat. Dies alles ist durch Galvani's und Volta's Arbeiten erst möglich geworden.

Die Anfänge waren, wie immer bei größten Fortschritten ins völlig Unbekannte, bescheidene hingebungsvolle Bemühungen um bisher wenig oder nur ungründlich beachtete Naturvorgänge, die wohl geheimnisvoll schienen, zu deren erfolgreicher Aufspürung aber vorgezeichnete Wege nicht vorhanden waren. Nur die seltenen Geister geborener Naturforscher konnten zu solcher Tätigkeit sich gezogen fühlen. Äußere Erfolge versprach sie nicht, auch nicht von vornherein akademische; galt doch der Gegenstand noch gar nicht als vollwertig.

Galvani war zu Bologna geboren, studierte dortselbst anfänglich Theologie, entschied sich dann aber bald für die Medizin. Er heiratete früh die Tochter seines Vormundes und Lehrers, arbeitete über die Nieren und Gehörorgane der Vögel, hielt dann seit 1762 Vorlesungen über Medizin an der Universität Bologna, wo er 1775 Professor der Anatomie, später auch der Frauenheilkunde wurde.

Schon früh hatte er über Reizung der muskelbewegenden Nerven an Froschpräparaten experimentiert, was ein im Jahre 1773 von ihm darüber gehaltener Vortrag nachweist; doch handelte es sich dabei nur um mechanische Reizung. Es lag nahe, auch die elektrische Reizung am Froschpräparat zu studieren; die Zuckungen lebender Muskeln durch elektrische Schläge waren seit Guericke und Leibniz bekannt. Bei den Arbeiten mit der Elektrisiermaschine in Gegenwart mehrerer Personen geschah es im Jahre 1780, daß eine Beobachtung gemacht wurde, die sofort als sehr merkwürdig auffiel, nämlich, daß heftige Zuckungen des Froschschenkel-Präparates auftraten, als es ohne Verbindung mit der Elektrisiermaschine in ziemlicher Entfernung von derselben am Tische lag, wenn sein Nerv mit der Spitze des Präpariermessers auch nur leise berührt wurde. Schnell zeigte sich, daß dies nur dann stattfand,

wenn gleichzeitig Funken in der Elektrisiermaschine übergingen und wenn außerdem das Messer nicht bei seinem isolierenden Griffe, sondern bei den leitenden metallenen Teilen seiner Klinge gefaßt war. Dieser ganz rätselhaften Erscheinung widmete Galvani, „von einem unglaublichen Eifer und Begehren entflammt"[1]), eine über 11 Jahre sich erstreckende umfangreiche, höchst mühevolle Untersuchung, die viele hundert Versuche an Tierpräparaten, meist Froschschenkeln umfaßte, und wobei er Schritt für Schritt zu immer weiteren, neuen Beobachtungen vordrang. Die Veröffentlichung erfolgte 1791 unter dem Titel „Abhandlung über die Kräfte der Elektrizität bei der Muskelbewegung"; sie besteht aus vier Teilen.

Der erste Teil geht von der schon bemerkten Beobachtung aus und klärt durch weitgehende Abänderung der Versuche die Bedingungen auf, unter welchem das Zucken der Froschschenkel ohne Berührung mit der Elektrizitätsquelle am besten erfolgt. Man kann heute sagen, daß Galvani hier mit großem Beobachtungsgeschick in Tiefen herabgestiegen ist, die damals weiter zu erhellen, als er es tat, nicht möglich war, obwohl spätere Beobachter gut hätten daran anknüpfen können, — was nicht geschehen ist. Es ist nicht zu verkennen, daß Galvani es hier mit elektrischen Schwingungen, die durch die Funken ausgelöst wurden, mit elektromagnetischer Induktion, ja mit elektrischen Wellen zu tun hatte[2]), — alles Vorgänge, die auf anderem Wege, von Galvani's drittem Teil ausgehend, über Volta, Oersted und Faraday, erst fast um ein Jahrhundert später und dann ohne Bezugnahme auf jene Beobachtungen des ersten Teiles entdeckt wurden.

Im zweiten Teil untersucht Galvani die Wirkungen der atmosphärischen Elektrizität auf die tierischen Präparate. Er findet bei diesen im Freien angestellten Versuchen sehr kräftige Muskelzuckungen bei jedem Aufleuchten eines Blitzes. Hier wirkte, wie schon im ersten Teil, das Froschpräparat nur als hochempfindliches Anzeigemittel für elektrische Kräfte. Neues bringt dieser Teil insofern nicht, als die elektrischen Ladungen der Gewitterwolken damals schon genügend durch herabgeholte Funken (wie von Franklin 1652 mit dem Drachen) nachgewiesen waren; der Teil ist auch nur kurz.

Anders ist es mit dem dritten Teil. Dieser geht von einer ganz neuen Beobachtung aus. Es war zu den Versuchen des ersten und zweiten Teiles

[1]) Dies sind seine Worte in der Veröffentlichung, hier — wie auch im Folgenden — zitiert nach der Übersetzung von A. von Oettingen (aus dem Latein der Urschrift) in Ostwalds „Klassikern". Die älteste deutsche, wohl weniger gelungene Übersetzung ist von W. J. Mayer (Prag 1793).

[2]) Eine sehr bemerkenswerte hierher gehörige Beobachtung ohne Froschpräparat findet sich auch im vierten Teil von Galvani's Abhandlung (S. 48 in der „Klassiker"-Ausgabe).

stets nötig gewesen, Leiter — Drähte oder andere Metallteile — sowohl am Nerven als auch am Muskel des Froschschenkel-Präparates anzubringen, und es fiel **Galvani** bei Versuchen, die er im Freien anstellte, auf, daß auch bei heiterem Himmel Zuckungen auftraten, wenn die verschiedenen Metallteile einander berührten, z. B. wenn der Nerv des Präparates mittels eines Messinghakens am eisernen Gartengeländer hing



Bild 29. Luigi Galvani.

und der Muskel das Eisen berührte. Galvani glaubte diese Zuckungen zuerst Veränderungen in der atmosphärischen Elektrizität zuschreiben zu sollen. „Als ich aber das Tier in das geschlossene Zimmer übergeführt, auf eine Eisenplatte gelegt und angefangen hatte, gegen letztere den in das Rückenmark gehefteten Haken zu drücken, siehe da, dieselben Kontraktionen, dieselben Bewegungen!" Damit war **eine neue Entdekkung** gemacht. Sie forderte **Galvani** wieder heraus zu einer außerordentlichen Zahl weiterer Versuche, wobei er weitgehend die Bedingun-

gen abänderte, um das Wesentliche zu erfahren, jedesmal aber ganz ohne Zuhilfenahme irgendeiner bisher bekannten Elektrizitätsquelle, denn offenbar war hier eine neue Elektrizitätsquelle gefunden, deren Sitz erst noch zu erforschen war. Er fand in der Hauptsache, daß die Stärke der Zuckungen von der Wahl der beiden Metalle abhing, die einander, sowie den Nerv einerseits und den Muskel andererseits berühren mußten; er fand aber auch, daß die Zuckungen zwar schwächer und manchmal unsicher waren, aber doch nicht ganz fehlten, wenn nur ein einziger, einheitlicher Metallbogen zwischen Nerv und Muskel geschaltet wurde. Diese letztere, von ihm mehrfach und mit ähnlichem Erfolg abgeänderte Beobachtung veranlaßte ihn, schließlich das tierische Präparat selbst als die Quelle der Elektrizität anzusehen, deren Entladung die Zuckungen hervorbrachten. Nerv und Muskel zusammen erschienen da wie eine selbsttätig sich aufladende Leydener Flasche, die bei Verbindung ihrer beiden Belegungen zur Entladung kam. Die „tierische Elektrizität" war gefunden.

Im vierten Teile, betitelt „Einige Vermutungen und Schlußfolgerungen", sucht Galvani besonders für die Heilkunde Winke in bezug auf seine Ergebnisse zu bieten. Er faßt sich dabei sehr bescheiden: „Das alles aber habe ich, wie gesagt, zu dem Zwecke erdacht, daß es von großen Gelehrten erwogen werde" . . ., „damit sie es einst nutzbar machen könnten; das war unser Hauptwunsch", — wie er auch schon zur Einleitung des Ganzen sagt: „denn hervorragende Gelehrte werden durch die Lektüre unserer Abhandlung in den Stand gesetzt, diese Resultate selbst durch ihre Betrachtungen und Experimente weiter zu entwickeln und vor allem jenes Ziel zu erreichen, welches wir selbst zwar erstrebt haben, aber zu erreichen vielleicht sehr weit entfernt waren".

Galvani's Wunsch wurde schon sehr bald nach Erscheinen seiner Abhandlung mindestens nach einer Richtung hin und in besonderer Weise erfüllt, da Volta die Studien am Froschpräparat aufnahm, ganz wie sie Galvani so reichlich vorbereitet hatte. Er knüpfte dabei zu allermeist an die eine Beobachtung Galvani's an, daß die Zuckungen lebhafter waren, wenn zwei geeignete, verschiedene Metalle im Schließungskreis benutzt wurden. Der unendliche Reichtum der Natur ließ ihn dabei wieder ganz Neues, Unerwartetes finden: Daß die Berührungsstellen der verschiedenen, leblosen Elektrizitätsleiter ebenso als Elektrizitätsquellen wirken — durch gegenseitige Aufladung —, wie es Galvani von Nerv und Muskel dachte. Auch konnte er einige Klärung in die Beziehungen von Nerv zu Muskel bringen. Daß dennoch auch Galvani's Schluß auf „tierische Elektrizität" seine Berechtigung hat, ist nach heutiger Kenntnis am allerwenigsten zu bezweifeln, — wenn auch die Beziehungen zum Leben so gut wie um nichts klarer geworden sind als zu Galvani's Zeit.

Galvani war zur Zeit der Veröffentlichung seiner Abhandlungen 54 Jahre alt. Er hat auch später noch dazu das Wort ergriffen; doch waren seine ältesten Jahre durch übermächtige Ereignisse verstört. Napoleon Bonaparte war 1796 als Sieger in Norditalien eingezogen und hatte danach die „Cisalpinische Republik" gegründet, zu der auch Bologna, Galvani's Wohnsitz — bis dahin im „Kirchenstaat" — gehören sollte. Galvani verweigerte den Eid auf die neue Verfassung und wurde daraufhin aller seiner Ämter für verlustig erklärt. Zwar bewirkten Verständige seine Wiedereinsetzung, die dann für den Jahresbeginn von 1799 festgesetzt war; doch starb er vorher, im Dezember 1798, im Alter von 61 Jahren.

Volta war in Como geboren, aus angesehener Familie stammend, wurde mit 29 Jahren Lehrer der Physik am Gymnasium seiner Vaterstadt und 1779 an die Universität zu Pavia berufen. Er machte in diesen Zeiten mehrfach Reisen, zunächst in die Schweiz, wo er Voltaire kennen lernte, der großen Eindruck auf ihn machte, später nach Paris, wo er sich Lavoisier und Laplace anschloß, nach Deutschland und nach England, wo er mit Priestley zusammentraf.

Volta hat unzweifelhaft schon von früh an, mit seltener Begabung experimentierend, eingehendste Kenntnisse und gründliche eigene Anschauung von allem sich verschafft, was damals über elektrische Erscheinungen bekannt war. Lange berühmt war sein aus zwei Strohhalmen bestehendes „Elektrometer", das dann mehr durch das Goldblatt-, später durch das Aluminiumblatt-Elektroskop verdrängt wurde, und womit er erstaunlich fein zu messen wußte, namentlich indem er den „Kondensator" hinzufügte, bestehend aus zwei Metallplatten, die nur eine dünne isolierende Lackschicht trennte, wodurch sie eine Leydener Flasche mit großer Kapazität (großem Fassungsvermögen für Elektrizität) bildeten, und die voneinander abhebbar waren, wobei die am Elektrometer zu messende Spannung leicht auf das 100fache sich vervielfältigte. Alles dies, sowie auch sein Elektrophor, war nichts grundsätzlich Neues, aber es bedeutete eine Herausbildung und Beherrschung elektrischer Meßkunst, die damals etwas ganz Neues und außer Coulomb überhaupt niemandem eigen war. Volta maß auch zuerst atmosphärische Elektrizität, indem er sein Elektrometer mit einer isolierten Flamme verband.

Die Einführung des Messenden, Zahlenmäßigen (Quantitativen) in das Studium der elektrischen Erscheinungen, wobei Coulomb vorangegangen war, erwies sich auch bei Volta als grundlegend fruchtbar, als er, gleich nach Erscheinen von Galvani's Abhandlung, wie allerdings damals viele außer ihm, die Arbeiten mit Froschpräparaten aufnahm. Er brachte sie im Laufe von acht Jahren bis zur bahnbrechenden

Herstellung der „Säule“ und des „Becherapparates“, dieser vorher nie dagewesenen Wundermittel zum Eindringen in ganz neue Wissensgebiete.

Zuerst drang er nach zahlreichen Versuchen an Froschpräparaten, die anfangs geringe Abänderungen von Galvani's Versuchen waren, zur Erkenntnis vor, daß die Muskelzuckungen nicht notwendig eine Elektrisitäts-Übertragung vom Nerven zum Muskel zur Vorbedingung haben, sondern daß eine elektrische Reizung des Nervs allein genügt, um den ihm zugehörigen Muskel in Bewegung zu setzen. Dies wies er nach, indem er ein längeres Stück des Schenkelnervs entblößte und dasselbe mit zwei Stanniolzuleitungen in genügendem Abstand voneinander versah, durch welche eine schwache elektrische Entladung das Nervenstück entlang geleitet werden konnte ohne den Muskel zu passieren. Der Muskel zuckte dennoch heftig auf. Von da ab benutzte Volta das Froschpräparat als ein Nachweismittel für Elektrisierungen, das an Empfindlichkeit das feinste Elektroskop samt Kondensator noch übertraf. Er berührt nun die beiden Nervenstellen mit zwei verschiedenen Metallen, z. B. Silber und Zinn, die auch untereinander sich berühren und schließt aus den Zuckungen, daß „ein elektrischer Strom“ durch den Nerven gehe und sagt „es ist klar, daß die Ursache dieses Stromes die Metalle selbst sind“, „daß die Elektrizität hier in einer Art und Weise erregt wird, von der man vorher keine Ahnung hatte“. Er stellt der „tierischen Elektrizität“ die „metallische Elektrizität“ entgegen, indem er den Sitz der Elektrisierung an der Berührungsstelle der beiden Metalle sucht[1]). Dabei kommt er auch auf eine Beobachtung, die schon 25 Jahre vorher bekannt war, von der man aber niemals den geringsten Verdacht hatte, daß ihr eine elektrische Erscheinung zugrunde liege. Legt man nämlich an die Zunge zwei verschiedene Metallstücke, so tritt in dem Augenblick, in welchem die beiden Metalle auch untereinander sich berühren, eine lebhafte Geschmacksempfindung auf. Volta sieht hierin sogleich denselben Versuch wie mit dem Froschnerven, nur daß an Stelle des letzteren die Zunge als feuchter Leiter tritt. Er unterscheidet je nach dem sauren oder laugigen Geschmack die Eintritts- und Austrittsstelle des Stromes an der Zunge, und er benutzt dies sogar, um die Richtung des Stromes, welchen verschiedene Metalle liefern, ausfindig zu machen[2]). Mit dem Froschschenkel, auch anderen tierischen Präparaten und der Zunge untersuchte Volta vielerlei Metalle und auch Kohle und Kiese als Leiter festen Aggregatzustandes, und er beginnt schon, sie in eine Reihe, je nach dem

[1]) Die Zitate sind Volta's Abhandlungen vom Jahre 1792 entnommen (S. 80 und 99 in der deutschen Herausgabe von A. von Oettingen, Ostwald's Klassiker Nr. 114).

[2]) Klassiker Nr. 118, S. 33. Insofern hat also Volta sogar, wenn auch unbewußt, schon chemische Wirkungen des elektrischen Stromes beobachtet.



Alessandro Volta

Damit war die „Säule" gegeben. Volta machte davon zuerst am 20. März 1800 an den Präsidenten der Royal Society in London briefliche Mitteilung, die nachher in den Abhandlungen dieser Gesellschaft gedruckt erschien. Er sagt da: „. . . ja, der Apparat, von dem ich rede, und welcher Sie zweifellos in Erstaunen versetzen wird, ist nichts, als die Anordnung einer Anzahl von guten Leitern verschiedener Art, die in bestimmter Weise aufeinander folgen. Dreißig, vierzig, sechzig oder mehr Stücke von Kupfer oder besser Silber, von denen jedes auf ein Stück Zinn, oder viel besser Zink gelegt ist, und eine gleich große Anzahl von Schichten Wasser oder irgendeiner anderen Flüssigkeit, welche besser leitet als gewöhnliches Wasser, wie Salzwasser, Lauge usw., oder Stücke von Pappe, Leder usw., die mit diesen Flüssigkeiten gut durchtränkt sind, diese Stücke zwischen jedes Paar oder jede Verbindung von zwei verschiedenen Metallen geschaltet: eine derartige Wechselfolge in stets gleicher Ordnung der drei Arten von Leitern, das ist alles, woraus mein neues Instrument besteht, welches, wie gesagt, die Wirkung der Leydener Flaschen oder der elektrischen Batterien nachahmt, indem es dieselben Erschütterungen gibt, wie diese, wobei es allerdings weit unterhalb der Wirksamkeit stark geladener Batterien bleibt, was die Kraft und das Geräusch der Explosionen, den Funken, die Schlagweite usw. anbelangt; es gleicht bezüglich der Wirkung einer nur sehr schwach geladenen Batterie, die indes eine außerordentliche Kapazität besitzt, übertrifft aber die Kraft und das Vermögen dieser Batterien unendlich darin, daß es nicht wie diese vorher durch fremde Elektrizitäten geladen zu werden braucht, und daß es den Schlag zu geben fähig ist jedesmal, wenn man es passend berührt, wie oft auch diese Berührungen erfolgen mögen." „Ich gebe Ihnen hier eine eingehende Beschreibung dieses Apparates und einiger anderer ähnlicher, sowie der entsprechenden bemerkenswertesten Versuche". Er beschreibt dann auch den „Becherapparat", bei welchem der flüssige Leiter in Bechern sich befindet, deren jeder einen Streifen Kupfer und einen Zinks enthält, die innen einander nicht berühren, außen aber in der richtigen Reihenfolge miteinander verbunden sind. Jeder solcher Becher stellt ein „Element" der Säule in anderer Form dar, heute das „Volta'sche Element" genannt. Volta beschreibt auch zugleich einige besondere Beobachtungen mit der Säule, die jedoch alle auf die physiologische Wirkung des Stromes sich beziehen: Die Schläge, welche besonders stark sind, wenn man beide Hände in Wasserbecken taucht, die mit den Enden der Säule verbunden sind; dann aber auch das fortdauernd sich steigernde Brennen an der Haut bei dauernder Berührung der Enden der Säule oder der Becherkette, welches Volta richtig als Nachweis des dauernden Kreisens der Elektrizität betrachtet. Auch die Wirkungen auf das Geschmacks-, Geruchs-, Gehör-Organ und auf das Auge untersucht und beschreibt er.

Diese Veröffentlichung brachte Volta bald eine Einladung nach Paris, zu Vorträgen vor der Akademie, denen auch Napoleon Bonaparte beiwohnte, der damals I. Konsul war. Es wurden Volta große Ehrungen zuteil, die ihn auch erfreut haben dürften, denn er schien schon immer ein Bewunderer Frankreichs gewesen zu sein. Er war 5 Jahre vorher, als Napoleon als Feldherr in Norditalien einzog, in einer Abordnung gewesen, die dem Sieger entgegengeschickt wurde.

Volta war 55 Jahre alt, als er die Säule fand; er hat seither in der Wissenschaft nicht mehr das Wort ergriffen. Er widmete sich von dieser Zeit an in der Hauptsache seiner Familie; ja im Jahre 1804 wünschte er auch von seiner Professur in Pavia zurückzutreten, was jedoch von Napoleon mit den Worten abgelehnt wurde: „Ich kann die Verabschiedung Voltas nicht bewilligen. Sind seine Tätigkeiten als Professor zu ermüdend, so mögen sie eingeschränkt werden. Er mag, wenn auch nur eine Vorlesung jährlich halten, aber die Universität Pavia wäre in ihrem Herzen getroffen, wenn ich es gestattete, daß ein so berühmter Name aus der Liste ihrer Mitglieder gestrichen würde; übrigens muß ein guter General auf dem Felde der Ehre sterben." So blieb er noch längere Zeit in angemessener Tätigkeit; nur für die letzten 8 Jahre seines Lebens hatte er sich in seine Vaterstadt Como zurückgezogen, wo er im Alter von 82 Jahren gestorben ist.

Es ist nicht zu verwundern, daß Volta seine Säule, das völlig neue Mittel, ergiebiges Fließen von Elektrizität zu erhalten, nicht selbst weiter benutzt hat, um die noch unbekannten, besonderen Wirkungen solchen Fließens zu erforschen: die chemischen Wirkungen, Wärmewirkungen und die allerdings mehr versteckten magnetischen Wirkungen. Es wurde das Experimentieren mit der Säule und dem Becherapparat mit solcher Hast sofort nach Volta's Bekanntgabe von so vielen Seiten aufgenommen, daß Auffindungen von derartigen Wirkungen alsbald an allerlei Stellen in einer Weise auftauchten, die ernste Forschung zunächst ausschalten mußte. Es war auch lächerlich einfach, das neue Hilfsmittel sich zu verschaffen: einige Metallstücke und Lappen oder Töpfe und etwas Salzlösung genügten dazu. Es war wie ein fertiges Geschütz, geladen hingestellt mit schon erfundenem Pulver samt Geschoß, das leicht loszuschießen war. Es lohnt sich daher auch nicht, Namen Derer zusammenzusuchen, die diese oder jene Beobachtung über Stromwirkungen zuerst bekannt gaben; wohl aber werden wir die Arbeiten von Davy, Berzelius, Oersted, Faraday, Joule in der zeitlichen Folge betrachten, die — 7 bis 40 Jahre später — erste gründliche Aufklärung über die Stromwirkungen schafften. Bemerkenswert ist, daß die Fülle des Neuen, das durch Volta's Entdeckung der „metallischen Elektrizität" zugänglich wurde, zumeist mit Galvani's Namen in Verbindung sich gehalten hat, ohne dessen vorherige Arbeit allerdings die Entdeckungen sobald

nicht hätten gemacht werden können: noch heute sind die Bezeichnungen galvanische Batterie, galvanischer Strom, Galvanometer, Galvanoplastik, Galvanokaustik, Galvanismus in Gebrauch[1]).

Aber nicht nur auf dem Gebiete der Elektrizität war zu dieser Zeit ein großer Vorrat weiteren Forschungsstoffes aus den Ergebnissen vorangegangener, hingebungsvoller Arbeit seltener Geister, wie Coulomb, Galvani und Volta aufgehäuft und den Nachfolgern übergeben, sondern es war das damals auch sonst der Fall, so durch Black, Scheele, Priestley und Cavendish in bezug auf chemische Vorgänge, auf Gase und auf Wärme; und was die Kenntnis vom Licht anlangt, so lagen immer noch Huygens' und Newton's Ergebnisse zu weiterer Bearbeitung bereit. Daher tritt von hier ab eine besonders schnelle Folge zwar bedeutungsvoller, aber nicht so sehr von Grund aus gebauter Leistungen auf, die auf eine verhältnismäßig große Zahl von Forschern verteilt sind. Wir haben allein aus den nächsten etwa 30 Jahren, bis Faraday, nicht weniger als 16 Forscher mit bedeutenden Leistungen zu nennen; in den vorhergegangenen 30 Jahren waren es nur 8 und darunter die vorher genannten Großen.

Graf Rumford
(1753—1814).

Dies ist ein von gelehrtem Ballast besonders wenig beschwerter Geist gewesen, der frei blieb, in beliebige Fernen zu schweifen, aber befähigt war, allem auf den Grund zu gehen, was er in Angriff nahm, und der ohne Gelehrtheit immer nur auf Hauptpunkte traf. Unter den sehr vielfältigen Betätigungen seines wechselvollen Lebens ist für uns hier, die Naturforschung betreffend, nur seine Bemühung, die Natur der Wärme zu ergründen, in den Vordergrund zu stellen; seine sonstigen Verdienste können nur kurz erwähnt oder angedeutet werden.

Der denkwürdige Versuch, den Graf Rumford in den Werkstätten für Kriegsbedarf zu München anstellte[2]), ging von den vorhandenen Kenntnissen über die Wärme aus, nach welchen sie als ein durchaus rätselhaftes Etwas erscheinen mußte, dessen Menge man zwar seit Black gesichert messen konnte, dessen Hinzufügung bei vielen chemischen Umwandlungen und auch zum Schmelzen und Verdampfen von Stoffen als erforderlich bekannt war, dem gegenüber aber die Waage versagte. Man konnte sich also etwa einen gewichtlosen Stoff darunter vorstellen

---

[1]) Man vgl. hierzu die spätere Anmerkung zu „Galvanometer" (bei Ampère).
[2]) Veröffentlicht 1798 in den Philosophical Transactions der Royal Society zu London.

— und dies war auch die verbreitete Vorstellung (Lavoisier hatte den Namen Calorique für diesen Stoff eingeführt) —, immerhin also doch etwas von der Art der sonstigen Stoffe, die die Chemie immer reichlicher kennen gelehrt hatte. Sie hatten alle das Gemeinsame, aus Grundstoffen zu bestehen, die in ihren Mengen unveränderlich sich zeigten, wenn sie auch bei chemischen Bindungen mit ihren Eigenschaften verschwunden erscheinen konnten, wie die Wärme verschwunden scheint, wenn aus Eis Wasser wird, aber beim Erstarren des Wassers doch wieder herauskommt, so wie auch gewisse chemische Vorgänge — wie Verbrennung — nicht Wärme brauchten[1]), sondern solche lieferten. Bei dieser Vorstellung von der Wärme mußte aber ein ziemlich alltäglicher Vorgang, nämlich die Wärmeentwicklung bei Reibung Schwierigkeiten machen; denn hierbei kommt Wärme zum Vorschein, ohne daß es erforscht war, wo sie hergekommen sei oder nachher fehle. Dies fiel Graf Rumford auf, als er in der Kanonenbohrerei bemerkte, wie sehr die gegossenen Rohrstücke beim Bohren sich erhitzten, wenn der Bohrer stumpf war. Er stellte daher hierüber eine Reihe von Versuchen an, die die damals üblichen Annahmen über die Herkunft der Reibungswärme prüfen sollten. Starke Reibung bringt meist Spähne oder Verpulverungen mit sich. Wenn die Spähne eine kleinere Wärmekapazität haben als der ursprüngliche Stoff, und zwar in genügendem Maße, dann wäre das Freiwerden von Wärme bei der Bildung der Spähne erklärt. Rumford maß daher im Mischungskalorimeter die Wärmekapazität der Bohrspähne des Kanonenmetalls, fand sie aber nicht im mindesten merklich anders als die größerer Stücke desselben Metalles. Dann konnte man meinen, die Wärme stamme aus der umgebenden, frei zuströmenden Luft. Als aber das Bohren bei abgeschlossener Luft, ja schließlich auch unter Wasser vorgenommen wurde, zeigte sich die jedesmal messend verfolgte Wärmeentwicklung durchaus nicht vermindert. In einem der Versuche wurde dann das Bohren mit einem absichtlich stumpfen Bohrer unter Wasser ununterbrochen zweieinhalb Stunden lang fortgesetzt, und siehe, das Wasser, in dem das Metallstück eingebettet war, kam zu dieser Zeit ins Kochen und kochte dann fortwährend weiter, solange gebohrt wurde. „Es wäre schwer, die Überraschung und das Erstaunen der Umstehenden zu beschreiben", sagt Rumford, „als sie eine so große Menge kalten Wassers warm geworden und schließlich tatsächlich zum Kochen gebracht sahen, ganz ohne Feuer". Er berechnet danach die in der Zeiteinheit erschienene Wärmemenge und findet sie — ungerechnet die offenbar großen Verluste an die Umgebung — mindestens gleich der beim Brennen von neun großen

[1]) Daß bei solchen, in der Hitze erfolgenden chemischen Vorgängen nicht Wärme(-Menge) verbraucht wird, sondern bloß Temperatur erforderlich ist, dies war damals noch nicht erkennbar geworden.

Wachskerzen gelieferten. Der Bohrer war durch zwei Pferde an einem Göpel in Bewegung gehalten worden, wozu aber auch eines genügt hätte. Vorteilhaft wäre diese ungewöhnliche Art der Wärmegewinnung durch die Arbeit eines Pferdes allerdings nicht, bemerkt Rumford; denn man würde mehr Wärme erhalten, wenn man das unentbehrliche Futter des Pferdes als Brennstoff benutzte. Zum Schluß wirft Rumford nochmals die Frage auf: „Was ist Wärme?", und er antwortet nach den gemachten Erfahrungen: „ein materieller Stoff kann sie nicht sein". Denn sie kam aus einem begrenzten Körpersystem, wie das Metallstück mit dem Wassertrog, fortdauernd, also in unbegrenzter Menge, heraus, nirgends demselben zuströmend, sondern nach allen Seiten nur wegströmend, und ohne daß die geringsten Zeichen von chemischen Veränderungen, etwa am Wasser, aufgetreten wären. Das geriebene Metallstück war zwingend als eine unerschöpfliche Wärmequelle nachgewiesen! „Es scheint mir schwer, wenn nicht ganz unmöglich", sagt da Rumford „etwas anderes zu denken, als daß die Wärme eben das sei, was in diesem Versuche dem Metallstück ebenso andauernd zugeführt wurde, als die Wärme in ihm erschien, nämlich: Bewegung".

Dieser Schluß war ein neues Vermächtnis für die Naturforschung. Es blieb angesichts des vielen, schon angehäuften, leichter zu handhabenden Arbeitsstoffes durch mehr als 40 Jahre unbenutzt, bis wieder ein ganz ursprünglicher Geist als echter Wahrheitsucher erschien, der hier von neuem eingriff: Julius Robert Mayer. „Wärme eine Art der Bewegung"[1]), dies konnte auf voll gesicherter Grundlage freilich erst noch später, 60 Jahre nach Rumford, verkündet werden, nachdem auch die Arbeiten von Clausius und früher schon Carnot hinzugekommen waren. Daß in all den Jahren nach Rumford sein auf Naturbeobachtung gegründeter Gedanke im allgemeinen doch das Beharren bei der Vorstellung von einem besonderen Wärmestoff nicht hinderte, dies zeigt, wie selten die Fachgelehrten Wahrheitsucher sind; nur wenige beachteten die Widersprüche mit der Wirklichkeit, in welchen sie sich befanden. Zu den wenigen suchenden und ursprünglichen Geistern gehörte Davy, der, um der Sache sich zu versichern, Eis durch Reibung zum Schmelzen brachte, was gelang, obgleich die Wärmekapazität des entstehenden Wassers fast doppelt so groß ist als die des Eises. Er brachte auch Wachs durch Reibung mittelst eines Uhrwerkes im luftleer gepumpten Raume zum Schmelzen unter Vorsichtsmaßregeln, die jede Wärmezuleitung ausschlossen[2]).

[1]) Titel zusammenfassender Vorlesungen, für Forscher sowie für Naturfreunde bestimmt, die John Tyndall 1863 in der Royal Institution in London hielt. (Deutsch erschienen Braunschweig 1867).

[2]) Diese Versuche waren ein Jahr nach Rumford's Veröffentlichung ausgeführt; sie finden sich in Davy's Erstlings-Schrift. Siehe „Works of Sir Humphry Davy" Vol. II, S. 11 u. f.

Rumford selbst führte noch sehr feine Versuche aus, um ein etwaiges Gewicht des „Wärmestoffes" mit der Waage festzustellen. Er hatte schon früher (1785) gefunden, daß ein heißgemachter Körper nicht merklich mehr wog als kalt, auch nicht weniger — wie Einige festgestellt haben wollten —, wenn man nur Sorge trug, die störenden Luftströmungen zu verhindern, die ein heißer Körper ohne Hüllen immer um sich ver-

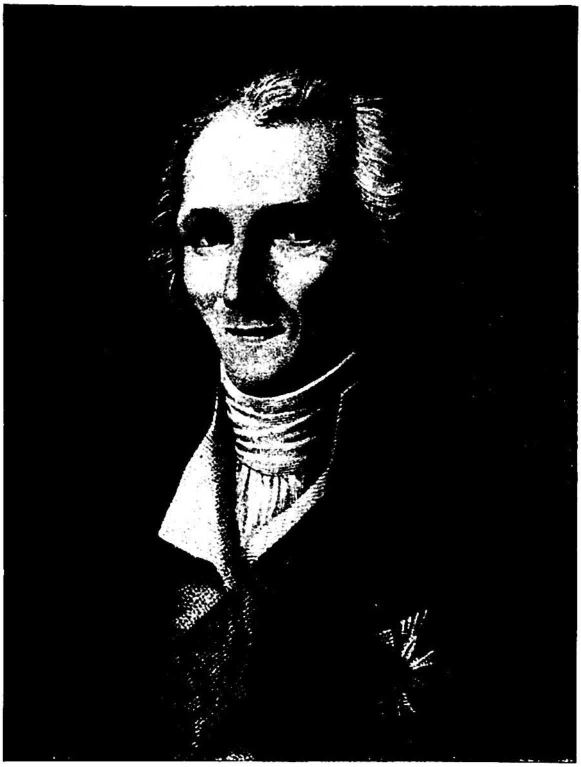


Bild 31. Graf Rumford.

breitet. „Lange Zeit fürchtete ich mich", sagt er, „vor einer entscheidenden Meinung in der Sache" wegen der großen Schwierigkeiten solcher Wägungen, bis er (1799) einen besonderen Kunstgriff erfunden hatte, der alle Temperaturunterschiede an der Waage und die sonstigen Fehlerquellen ausschaltete. Das wieder völlig negative Ergebnis teilte er dann der „Royal Society" in London mit[1]. — Hier sei übrigens — die uner-

[1] Seine Mitteilungen über die gröberen sowie die feineren Versuche findet man in „Graf Rumfords kleinen Schriften", deutsche Ausgabe, Weimar 1805, S. 553 ff. Nach den dortigen Zahlen konnte er feststellen, daß eine große Kalorie jedenfalls weniger als + 0·013 mgr wiegt.

schöpflichen Überraschungen der Natur zeigend — bemerkt, daß seit Hasenöhrl's noch wenig zurückliegenden Forschungen (1904) nicht an einem bestimmt angebbaren Gewicht der Wärme (wie jeder Energieform) zu zweifeln ist, dessen außerordentliche Kleinheit aber freilich auch den heutigen Wägungsmitteln noch unzugänglich ist.

Rumford, ursprünglich Benjamin Thompson, war in Nordamerika geboren, Sohn einer aus England stammenden Familie; er war in seiner Jugend mittellos, konnte nicht viel Schulen besuchen und kam mit 13 Jahren als Lehrling in ein Handelshaus. Bald trat er aber mit gelegentlich erworbenen Kenntnissen selbst als Lehrer auf und heiratete dann eine reiche Witwe. Als der amerikanische Unabhängigkeitskrieg ausbrach, nahm er Dienst in der amerikanischen Armee; denn er hatte eine große Vorliebe für das Soldatenleben. Seine aristokratische Gesinnung machte ihn aber bald in Amerika verdächtig, so daß er auf ein englisches Schiff flüchten mußte. Seine Frau hat er danach nie wieder gesehen; seine Tochter, damals noch in der Wiege, kam erst 20 Jahre später in das Haus ihres Vaters. Er war dann in englischen Diensten, wo er vermöge seines gewinnenden Wesens und vertrauenerweckenden, geschickten Auftretens bald Unterstaatssekretär im Kolonialministerium wurde. Damals begann er seine wissenschaftlichen Forschungen, die zunächst auf Kriegsmittel sich bezogen[1]). Später schloß er sich deutschen Fürsten an; beim Kurfürsten Karl Theodor machte er einen so guten Eindruck, daß er in bayerische Dienste genommen und nach Bekleidung verschiedener höherer Staatsämter zum Kriegsminister ernannt wurde. In dieser Eigenschaft hatte er auch die Werkstätten zur Verfügung, in welchen er die oben geschilderte denkwürdige Untersuchung ausführte. Er bewies große Liebe zu seinem neuen Vaterlande, führte eine Neuordnung der Heeresangelegenheiten durch, sorgte in höchst werktätiger Weise mittels allerlei Erfindungen — Beheizung, Beleuchtung, Kochvorrichtungen betreffend — für das verarmte Volk und erfreute sich infolgedessen großer Beliebtheit in Bayern[2]), wo ihm auch der Titel „Graf von Rumford" verliehen wurde, den er seither als Namen führte. Jedoch der Tod seines Gönners, des Kurfürsten Karl Theodor (1799) erschütterte seine Stellung in Bayern; so entschloß er sich nach Paris zu übersiedeln, wo ihn der erste Konsul, Napoleon Bonaparte, mit Auszeichnung empfing. Er starb dort im Alter von 61 Jahren.

[1]) In London gründete er auch die „Royal Institution", eine Anstalt für Forschung und Vorträge, an der dann Davy, Faraday, Tyndall wirkten.

[2]) Er ist auch Begründer des „Englischen Gartens" in München. Das dortige Denkmal wurde ihm schon 1795 errichtet.

Martin Heinrich Klaproth (1743—1817) und John Dalton (1766—1844).

Allmählich, namentlich aber durch so umfassend kenntnisreiche und tätige Forscher wie Scheele und dann Klaproth, war die gesammelte Erfahrung der Chemie über die Zusammensetzung der Unzahl von Stoffen, welche die Natur bot und die Experimentierkunst herstellte, soweit gediehen, daß man als deren Bestandteile eine nicht so sehr große Zahl von Grundstoffen zu unterscheiden vermochte, aus denen vielleicht alle anderen Stoffe sich aufbauten und die vielleicht selber einfacher, nicht weiter zerlegbarer Art wären. Wichtig war es, daß man auch umfassende Kenntnisse über die Gewichtsmengen sammelte, nach welchen die Grundbestandteile in verschiedenen Verbindungen enthalten oder zu deren Bildung erforderlich gefunden wurden, worin ganz besonders Klaproth vorbildlich war.

Widerspruchsfrei möglich wurde die Annahme von der Zusammensetzung aller Materie aus bestimmten, erfahrungsmäßig sich ergebenden Grundstoffen erst, als Black, Priestley, Cavendish und wieder Scheele gezeigt hatten, wie ernst die von ihnen überhaupt erst entdeckten, verschiedenen „Luftarten" — Gase — als wägbare Bestandteile zu nehmen sind; Grundannahme war dabei die Unveränderlichkeit der Gewichtsmengen der Bestandteile, ob getrennt für sich, oder ob in Verbindung, unter ganz anderer Gestalt, gewogen. Dagegen Wärme und Feuer (Phlogiston), — so wichtig bei der Herstellung der meisten Stoffe und daher lange als ebenfalls mit eingehende Bestandteile aufgefaßt — waren allmählich aus diesen Betrachtungen ausgeschieden; denn sie waren mit der Waage nicht zu erfassen. Lavoisier hatte jedenfalls gezeigt, daß solche Einschränkung in der Zahl der wägbaren Grundstoffe alles viel einfacher erscheinen läßt als man bis dahin zu denken wagte, und solche Vereinfachung kam zu allen Zeiten der Versicherung gleich, daß man zu Vorstellungen vorgedrungen war, die in wesentlich verbesserter Weise der Wirklichkeit angepaßt sind. Zudem hatte Graf Rumford unmittelbar nachgewiesen, daß ein Gewicht der Wärme nicht in Betracht kommt[1]).

[1]) Hierin stimmen in bezug auf Wärme Graf Rumford und Lavoisier überein. Es ist jedoch der Unterschied vorhanden, daß die (praktische) Unwägbarkeit der Wärme bei Rumford mit großer Gewissenhaftigkeit festgestellte Beobachtungstatsache, bei Lavoisier dagegen von vornherein eingeführte Hypothese war, außerdem daß Rumford — wieder auf Grund unmittelbarer Feststellung — Wärmemengen durchaus nicht unter allen Umständen als unveränderlich ansah, während Lavoisier den in seiner Menge unveränderlichen Wärmestoff (Calorique) eingeführt hatte.

Von hier aus schritt Dalton wieder ein großes Stück vor. Er faßte die große Wichtigkeit der feststehenden Gewichtsverhältnisse ins Auge, in welchen je zwei Bestandteile, die zu einem neuen Stoff sich verbinden, dies stets tun: das „Gesetz der konstanten Proportionen", wie man es nannte. Dazu kam auch das „Gesetz der multiplen Proportionen", indem man fand, daß in manchen Fällen mehrere verschiedene Gewichtsverhältnisse der Bestandteile möglich waren, die aber dann Vielfache voneinander waren, und zwar stets nach kleinen ganzen Zahlen, wovon Dalton auch selbst einige Beispiele besonders untersucht hatte.

Dalton hatte neben diesen Tatsachen die weitgehende Zerteilbarkeit aller Körper vor Augen, die doch nicht nur die einfachen, sondern auch die zusammengesetzten, die — wie z. B. Wasser — nicht beliebig veränderliche Mischungen sind, in ihren Eigenschaften ungeändert läßt. Dies zeigte ihm an, daß auch sehr kleine Teile dieser nach festen Gewichtsverhältnissen zusammengesetzten Körper noch immer die Bestandteile, z. B. Wasserstoff und Sauerstoff enthalten müssen und zwar sogar in dem richtigen, fest bemessenen Gewichtsverhältnis, in welchem sie in jeder beliebigen Menge desselben Stoffes stets sich finden. Hieraus schloß er, daß solche Körper, wie das Wasser (chemische Verbindungen nennen wir sie heute, im Gegensatz zu Mischungen), von vornherein aus sehr kleinen Teilen bestehen müssen, die alle einander gleich sind und die selbst wieder zusammengesetzt sein müssen aus noch kleineren vorgegebenen Teilen der Grundstoffe, welche letztere aber trotz ihrer offenbar unwahrnehmbaren Kleinheit doch diejenigen ganz bestimmten Gewichte haben müssen, welche der Zusammensetzung des Stoffes, z. B. des Wassers entsprechen. Diese vorgegebenen Teile, aus welchen so alles Materielle aufgebaut ist, nennt Dalton Atome. Er spricht nicht nur von Atomen der Grundstoffe, sondern z. B. auch von Atomen des Wassers, wofür wir heute Moleküle oder Molekel sagen, um Atomgruppen von einzelnen Atomen besser zu unterscheiden. Ein solches Atom (Molekül) des Wassers könnte im einfachsten Fall aus 1 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff bestehen (dies nimmt Dalton an), und in diesem Fall würde die bekannte Zusammensetzung des Wassers bereits das Gewichtsverhältnis dieser beiden Atome angeben (sehr nahe 1 : 8 nach heutiger Kenntnis, 1 : 7 mit der zu Dalton's Zeit erreichten Annäherung). Es könnten aber statt 1 Atom auch deren 2, 3 usw., von jedem Grundstoff in jedem Molekül sein; beliebige Vielfache nach ganzen Zahlen, aber keine Zwischenstufen, da die Atome alle als einander gleich und als unveränderlich angenommen sind; und hierdurch ist das Gesetz der multiplen Proportionen erklärt. Die Möglichkeit von Vielfachen verhinderte nicht die Ermittelung der Gewichte der Atome; sie erschwerte sie nur, indem man sehr vielerlei

Verbindungen von jedem Grundstoff untersucht haben mußte, um Täuschung durch Vielfache möglichst auszuschließen. So verfährt Dalton mit den damaligen Kenntnissen von der quantitativen Zusammensetzung der verschiedenen Verbindungen, und er stellt danach zum erstenmal eine Atomgewichtstabelle auf, bei welcher schon das Gewicht des Wasserstoffatoms zur Einheit genommen ist.

Dies ist die Grundlage der gesamten weiteren Entwicklung der Chemie geworden nicht nur, sondern überhaupt der Weiterentwickelung aller Kenntnis von der Materie. Es war damals nur eine Hypothese (Vermutung), aber eine auf sehr viel quantitative Kenntnis gegründete Hypothese, die weiter quantitativ geprüft werden konnte. Sie hat sich dabei aufs Umfassendste bewährt, indem sie — in heute schon zahllosen Fällen — immer nur zu zutreffenden Folgerungen führte. So ist sie allmählich Theorie geworden, d. i. auf Erfahrung wohlgegründete quantitative Kenntnis, die, obgleich über unmittelbar den Sinnen Zugängliches weit hinausgehend, doch dieselbe Sicherheit besitzt wie die unmittelbaren Sinneswahrnehmungen. Wir sind in dieser Weise von dem Dasein der Atome mit ihren Gewichten heute ebensogut überzeugt, wie etwa von der Kugelgestalt und der Achsendrehung der Erde, deren wir uns auch nicht unmittelbar mit den Sinnen versichern können. Wir wissen heute, ausgehend von Dalton's Anfängen, bereits sehr viel mehr von den Atomen als nur ihre Gewichtsverhältnisse; sie stehen heute, in gehöriger Vergrößerung vorgestellt, wenn auch im einzelnen teils noch unbestimmt, so doch ebenso als Ergebnisse allmählich zunehmender Erkenntnis vor uns, wie der sich drehende Erdball in verkleinerter Vorstellung, wie von fern gesehen, schon lange uns geläufig ist. Es war das ein erstes großes Beispiel vom Vordringen in sinnlich nicht wahrnehmbare Einzelheiten der Welt, das Dalton in seiner im Jahre 1808 begonnenen Schrift „A new system of chemical philosophy" („Ein neues System der chemischen Wissenschaft") gegeben hat, fußend auf so gediegene Forscherarbeit wie besonders die Klaproth's[1]). Die Atomgewichte sind seither nicht nur durch weitere Verfeinerung der quantitativen chemischen Analyse mit außerordentlich vergrößerter Genauigkeit

[1]) Die heutige „Philosophie" geht gewöhnlich ins Altertum zurück, wenn sie den Ursprung der Kenntnis von „Atomen" angeben will. Sie bemerkt dabei wohl nicht, daß sie bloß dem Ursprung des Wortes nachgeht, und sie verwechselt willkürliche Gebilde des Menschengeistes — deren immer viele früh aufgetaucht sind — mit streng an nachmeßbare (quantitative) Erfahrung gebundenen Abbildungen der Außenwelt; sie verwechselt sorglose Dichtung mit mühsam gesuchter und nachgeprüfter Wahrheit. Sie hätte aber — ins Altertum zurückgehend — von Pythagoras lernen können, wie man vor solcher todbringenden Verwechselung mit Sicherheit sich bewahrt: durch das Maßmäßige (Quantitative). Aber auch ohne — wie es der Naturforscher tut — ausnahmslos

festgelegt worden, sondern man hat durch Zuhilfenahme der Molekulargewichtsbestimmungen und durch andere Methoden auch bald gelernt, die unbekannten Vielfachen mit voller Sicherheit zu vermeiden. Etwas länger — etwa noch 50 Jahre — hat es gedauert, bis man auch die Bewegungen der Moleküle in den Körpern, am ehesten in den Gasen, kennen lernte (kinetische Gastheorie), was dann auch dazu führte, die räumlichen Größenverhältnisse der Moleküle und Atome und dann auch ihre absoluten Gewichte (in gewöhnlicher Gewichtseinheit) kennen zu lernen; und die Einzelkenntnis über die Moleküle und Atome, die innerlich noch eine Welt für sich sind, ist auch jetzt noch immer im Fortschreiten.

Klaproth war zu Wernigerode am Harz geboren, besuchte dort die Schule, ging dann als Apothekerlehrling, später Gehilfe nach Quedlinburg, wurde aber erst in seinem 23. Jahr, in Hannover, mit besseren Lehrbüchern der Chemie bekannt. Von da an erwachte sein Streben, in Stellungen zu kommen, wo er mehr lernen konnte; er ging nach Berlin, wo er Gehilfe, später Verwalter einer Apotheke war. Im Jahre 1780 konnte er sich ein eigenes Laboratorium einrichten, aus welchem eine sehr große Zahl vorbildlich exakter Arbeiten hervorging. Er führte zuerst den Gebrauch ein, als Ergebnis einer quantitativen Analyse nicht korrigierte Werte, sondern die unmittelbar durch den Versuch gegebenen Daten mitzuteilen. Der Verlust oder der Überschuß, welchen eine Analyse fast immer gibt, war bisher stets von den untersuchenden Chemikern selbst nach bestem Gutdünken, oft aber auch nach einmal gefaßten Vorurteilen, ausgeglichen worden, und als Resultat der Beobachtung wurde nicht das Ergebnis der Versuche selbst, sondern fast immer nur die Schlußfolgerung mitgeteilt, welche man mit mehr oder weniger Recht aus den Versuchen ziehen zu können glaubte. Klaproth zuerst führte es ein, nicht nur die eigene Überzeugung über die Zusammensetzung einer Verbindung bekannt zu machen, sondern auch vollständig die Einzelheiten der Untersuchung darzulegen; die Übereinstimmung des

dieses Mittels sich zu bedienen, was gar nicht überall möglich ist, kann man der Wahrheit dienen, d. i. tatsächlich stattgehabtem Ablauf von Ereignissen nachgehen, statt aus Hirngespinsten „Systeme" zu machen, unbekümmert um deren Versagen den Wirklichkeiten gegenüber; nur bemerkt dies die „Philosophie" nicht mehr. Sie hat sich, unfähig geworden, die fortgeschrittene Naturforschung noch zu erfassen — was aber deren heutiger, materialistischer Betrieb (nicht deren Umfang) auch sehr erschwert —, zu einem unzweifelhaft schädlichen Scheindasein verdammt, das sie an Universitäten fristet, hauptsächlich als Schreckgespenst für Examenskandidaten und zur Verflachung von deren Geistern dienend: und manche andere „Geisteswissenschaft" steht — ebenfalls aus Mangel an unbedingter Wahrheitbegeisterung — nicht anders da.

Gewichtes der erhaltenen Bestandteile, verglichen mit dem angewandten Gewichte der zu untersuchenden Substanz, gab nunmehr einen Maßstab für die Genauigkeit der Untersuchung, für die Zuverlässigkeit der gebrauchten Methoden. Die Fortschritte, welche die analytische Chemie seitdem gemacht hat, die Entdeckungen vieler neuer Stoffe, beruhen allein auf dieser Art die Untersuchung durchzuführen und mitzuteilen, indem eine allzu große Abweichung des Gewichts der Bestandteile von dem der Substanz nur durch eine fehlerhafte Methode oder durch die Vernachlässigung eines in der Substanz noch enthaltenen unbekannten Bestandteiles verursacht sein kann[1].



Bild 32. M. H. Klaproth.

So wurde Klaproth vor allem selbst wesentlicher Verbesserer der Methoden der quantitativen Chemie, was ihn in Stand setzte, von Anderen begangene Irrtümer aufzudecken und worin seine Bemühungen öfter mit den gleichartigen Scheele's sich vereinigten. Auch wurde er Entdecker einer Reihe noch unbekannt gewesener Grundstoffe; so 1782 des Tellurs, 1789 des Urans in der Pechblende, dann der Zirkonerde als besonderem Stoff; 1793 schied er unzweifelhaft die Strontianerde vom Baryt, 1795 entdeckte er das Titan und 1803 das Zer. Seine Art exakten Vorgehens brachte noch über 50 Jahre lang vielen seiner Nachfolger weitere Fortschritte ähnlicher Art. Besonders die allmähliche Erkennung auch noch der übrigen Grundstoffe, soweit sie überhaupt in nicht allzu geringen Mengen in irdischen Stoffen vorkommen, wurde so erreicht. Einen neuartigen Weg, auch spurenweise vorhandene Grundstoffe zu finden, lieferte erst 1860 Bunsen's und Kirchhoff's Spektralanalyse.

Klaproth's Verdienste wurden so gut wie in seinem Lande möglich anerkannt; er wurde 1809, mit 66 Jahren, an die damals neuerrichtete Universität Berlin als Professor der Chemie berufen, nachdem er schon mehrere Jahre vorher an der Artillerieschule Chemie gelehrt hatte. Er starb im Alter von 74 Jahren.

[1] Vgl. über Klaproth in jeder Beziehung Kopp's Geschichte der Chemie, Bd. I, S. 343 ff., Braunschweig 1843.

Dalton war in einem kleinen Ort des nordwestlichen England geboren, wo sein Vater Weber war und ein kleines Lehnsgut besaß. Er genoß den Unterricht in einer benachbarten Schule, trat dann aber schon mit 13 Jahren selber als Lehrer in seinem Heimatsorte auf, wo er auch seinem Vater bei der Landwirtschaft behilflich war. Von da ab half er sich sein ganzes Leben lang als Lehrer in allerlei Schulen durch, zunächst gleichzeitig mittels freundlicher Nachhilfe immer weiter auch an seiner eigenen Ausbildung arbeitend. Bald veröffentlichte er auch Einiges über mathematische Gegenstände. Mit 27 Jahren siedelte er nach Manchester über, das nun dauernd sein Wohnsitz blieb. Seine Tätigkeit als Lehrer verschaffte ihm hinreichendes Auskommen für seine bescheidenen Ansprüche; eine Familie gründete er nicht.

Seine experimentellen Untersuchungen wußte er mit einfachen Mitteln durchzuführen; sie bezogen sich zumeist auf Gase und Dämpfe. Es war natürlich, daß man, seit Temperaturmessung mit Quecksilberthermometern in Gang gekommen war, das Verhalten der Luft sowohl als auch des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen zu untersuchen begann. Besonders Volum und Druck in Abhängigkeit von der Temperatur wurden untersucht; doch waren viele einander widersprechende Angaben im Umlauf. Dalton war der erste, der hier Gründliches lieferte. Die Dämpfe untersuchte er in Barometerröhren, in die er die zu verdampfende Flüssigkeit über das Quecksilber aufsteigen ließ und die er auf verschiedene Temperaturen brachte. Er fand, daß zu jeder Temperatur ein bestimmter Druck des betreffenden Dampfes gehört, ganz unabhängig von der vorhandenen überschüssigen Flüssigkeitsmenge und vom Volum des Dampfes. Es ist dies die für alle Fragen der Verdampfung, des Verdunstens und Siedens maßgebende Grundkenntnis von den Dämpfen, die hier bei Dalton ihren Ursprung hat und die er schon selbst in „Dampfspannungstabellen" zusammenfaßte. Ferner fand er, daß der der Temperatur entsprechende Dampfdruck unverändert auch dann vorhanden ist, wenn gleichzeitig ein Gas den Raum erfüllt. Der Druck des Gases, der nach Boyle's und Mariotte's Gesetz sich richtet, und der Dampfdruck, der nur von der Temperatur abhängt, stören einander nicht; sie addieren sich bloß. Ist der Dampf aber nicht gesättigt, d. h. ist keine überflüssige Flüssigkeit vorhanden, so verhält er sich wie ein Gas nach Boyle's und Mariotte's Gesetz.

In diesem Zusammenhang untersuchte er auch gründlich die Volumausdehnung der Gase bei Erwärmung unter konstant gehaltenem Druck. Er sah ein, daß die darüber vorhandenen Angaben nicht viel wert sein konnten: sie entstammten unreinen Versuchen; man hatte die Gase über Wasser gehabt und daher Gas und Dampf zusammen gemessen. Indem er möglichst getrocknete Gase untersuchte, und zwar Luft,

Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlensäure und Stickoxyd, stellte er fest, daß sie alle um gleich viel für jeden Grad sich ausdehnen und zwar vom Eispunkt bis zum Siedepunkt um $^{100}/_{265}$ des zum Eispunkt gehörigen Volums. Dies ist das im gleichen Jahre (1802), nur wenig früher, auch von Gay-Lussac in Paris veröffentlichte, heute fast ausschließlich nach Letzterem benannte Gesetz[1]). Der später mit wachsender Genauigkeit festgestellte Ausdehnungskoeffizient der Gase, $^{1}/_{273}$, ist ein wenig kleiner als von Dalton (und auch von Gay-Lussac) gemessen. Dieser Ausdeh-



Bild 33. John Dalton.

nungskoeffizient der Gase ist nach den späteren Erkenntnissen der von Clausius begründeten kinetischen Gastheorie von besonderer Wichtigkeit geworden, indem er den absoluten Nullpunkt der Temperatur angibt, —273° C, bei welchem das durch die Bewegung der Gasmoleküle aufrecht erhaltene Volum und daher die lebendige Kraft der Moleküle — das richtige Maß der Temperatur — Null wird.

[1]) In älteren Veröffentlichungen, z. B. in Carnot's wichtigem Werk über die Wärmemaschinen (1824) heißt es „Gesetz von Gay-Lussac und Dalton", was durchaus ebenso gerechtfertigt ist, wie die gebräuchliche Benennung des Druckabhängigkeits-Gesetzes nach Boyle und Mariotte.

Seine Dampfspannungstabellen benützte Dalton auch zur Messung des Wasserdampfgehaltes der Luft, ganz in der Art, wie es im heutigen Taupunkt-Hygrometer geschieht, dessen Erfinder er demnach ist, wenn es auch später bequemere Formen angenommen hat.

Auch verdankt man Dalton die Feststellung, daß Gase bei Zusammendrückung heiß, bei Dehnung (gegen äußeren Druck) kalt werden. Die Erhitzung beim Zusammendrücken war nicht lange vorher bei Windbüchsen gefunden worden, und sie hatte bald zur Erfindung des „Pneumatischen Feuerzeuges" geführt. Dalton wies durch eingehende Untersuchungen nach, daß dabei nicht etwa Reibungswärme am Stempel vorliege, sondern eine sehr bewerkenswerte, ungeahnte Eigenschaft aller Gase[1]). Dies wurde später, besonders durch Carnot und Robert Mayer, von höchster Wichtigkeit.

Dalton's Verdienste wurden bald durch allerlei Ehrungen anerkannt, die indessen seine Lebensverhältnisse nicht beeinflußten. „Er war von jenem echten, jetzt so seltenen philosophischen Geist, der in der Erforschung der Wahrheit eine so großartige Belohnung findet, daß er daneben die vergänglichen Zeichen von Anerkennung der Menschen gering achtet"[2]). Im Jahre 1833 erhielt er einen kleinen Ruhegehalt vom König; er starb 11 Jahre später, 78 Jahre alt.

Louis Joseph Gay-Lussac (1778—1850) und Alexander von Humboldt (1769—1859).

Diese Beiden gehören als Naturforscher zusammen, nicht nur weil sie eine wichtige Arbeit gemeinsam ausführten und veröffentlichten, sondern ebenso durch die dauernde Freundschaft, die sie im Leben verband, so verschieden sie auch sonst, jeder in seiner eigenen Gesamtbedeutung, gewesen waren.

Gay-Lussac war in einer kleinen Stadt im südlichen Teile Frankreichs geboren, wo sein Vater Richter war, studierte in Paris technische Wissenschaften und bekleidete dann verschiedene Lehrerstellen und Professuren der Chemie und der Physik und auch andere öffentliche Ämter, die ihm hohes Ansehen verschafften. Er starb, 72 Jahre alt, in Paris.

Am bekanntesten ist das nach ihm benannte Gesetz der gleichen Wärmeausdehnung aller Gase, das er gleichzeitig mit Dalton

1) Siehe E. Mach, „Prinzipien der Wärmelehre", S. 198.
2) Hermann Kopp, „Geschichte der Chemie", Bd. I, S. 364.

entdeckte, indem er, wie dieser, zum ersten Mal reine Versuche mit einer Anzahl der damals bekannten Gasarten durchführte. Daß der von ihm, sowie auch von Dalton gemessene Ausdehnungskoeffizient ein wenig zu groß ausfiel (wie man heute weiß), dies war offenbar durch die damals noch unbekannte Eigenschaft der Glasgefäße bedingt, hartnäckig Wasser an ihrer Oberfläche festzuhalten, und vermindert nicht im min-



Bild 34. Louis Joseph Gay-Lussac.

desten das Verdienst der Entdeckung dieser Besonderheit des Gaszustandes, bei allen Stoffarten so unterschiedslos gleiches Verhalten zu zeigen.

Ebenfalls die Gase betraf Gay-Lussac's teilweise gemeinsam mit Humboldt ausgeführte Untersuchung über die Volumverhältnisse, in welchen Gase chemische Verbindungen miteinander eingehen. Zuerst (1805) untersuchten sie die Bindung von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser nach der nun 24 Jahre zurückliegenden Entdeckung von Cavendish, der übrigens damals noch lebte, und aus dessen

Volumangaben schon mindestens nahe das Verhältnis 2 : 1 für die beiden gasförmigen Bestandteile hervorging[1]). Gay-Lussac und Humboldt fanden, indem sie die beiden Gase, in verschiedenen Verhältnissen gemischt, in dem von Volta angegebenen „Eudiometer" durch elektrische Funken verpuffen ließen, daß dieses einfache Verhältnis mit auffallender Genauigkeit gilt. Danach untersuchte Gay-Lussac allein (1808) noch eine sehr ansehnliche Reihe von weiteren Verbindungsvorgängen bei Gasen, so die Bindung von Salzsäuregas mit Ammoniakgas, von Kohlensäure mit Ammoniak, Kohlenoxyd mit Sauerstoff und viele andere, und es fanden sich überall nicht minder einfache Volumverhältnisse. Teilweise berechnet er auch die Volumverhältnisse, welche bei Gaszustand sich zeigen würden, aus den bekannten Gewichtsverhältnissen und den spezifischen Gewichten der Gase oder Dämpfe. Danach kann er mit Recht verkünden, „daß zwei Gasarten, welche aufeinander chemisch einwirken, immer in den allereinfachsten Volumverhältnissen miteinander sich verbinden", sowie daß auch das Volum des gasförmigen Verbindungsproduktes stets nur eine einfache Verhältniszahl ergibt.

Diese Erkenntnis, welche mächtig Dalton's Atomvorstellung stützte, war einer der festesten Anhaltspunkte zur weiteren Entwicklung aller Kenntnis von Atomen und Molekülen und damit auch aller Forschung über den Aufbau der Materie, ganz besonders im Gaszustand. Es wurde zunächst klar, daß im einfachsten Fall im gleichen Volum der verschiedenen Gase gleichviel Atome oder etwa Moleküle sein könnten. Dabei unterschied man damals die beiden Begriffe Atom und Molekül noch gar nicht besonders. Es war Amadeo Avogadro (lebte 1776 bis 1856 in Turin), der zuerst, bereits 1811, für die Annahme von besonderen Molekülen, auch der elementaren (nicht zusammengesetzten) Gase sich entschied, die nicht aus je 1, sondern, wenigstens bei den damals bekannten gewöhnlichen Gasen, aus je 2 gleichen Atomen in Zusammengruppierung bestehen sollten, während die Moleküle chemischer Verbindungen aus ungleichen Atomen gruppiert sind. Nach dem so festgelegten Molekülbegriff war dann bei allen Gasen die gleiche Molekülzahl in gleichem Volum anzunehmen, um mit aller damaliger Erfahrung der Chemie in Übereinstimmung zu sein. Es mußte das alles lange bloß Hypothese (Vermutung) bleiben, die berechtigterweise nur sehr zögernd beachtet wurde. Alle weitere Erfahrung hat sie aber nur bestätigt; gut über Zweifel kam sie zum ersten Mal hinaus, als fast 50 Jahre später, nach Robert Mayer und Clausius, von ganz anderer, an sich

[1]) Sogar schon Volta gibt an, daß Wasserstoff und Sauerstoff in diesem Verhältnis das beste „Knallgas" geben; nur wußte vor Cavendish niemand, daß das Ergebnis der Verpuffung Wasser ist! (Vgl. Kopp, „Geschichte der Chemie", Bd. III, S. 265 bis 267.)

ebenfalls wohlgestützter Seite her, nämlich aus der kinetischen Theorie der Gase, dasselbe sich ergab. „Avogadro's Gesetz“ von der gleichen Molekülzahl in gleichen Räumen aller Gase (bei gleichem Druck und gleicher Temperatur) gehört heute zu den best festgestellten Erkenntnissen. Es ist die Grundlage aller Molekulargewichtsbestimmungen und dadurch der Atomgewichtsbestimmung.

Gay-Lussac untersuchte auch zuerst messend die kurz vorher von Dalton sichergestellte Beobachtung, daß Gase bei plötzlichem Zusammendrücken stets Erwärmung, beim Ausdehnen dagegen Erkaltung zeigen, letzteres jedoch nur, wenn die Ausdehnung gegen äußeren Druck stattfindet, nicht beim Einströmen in ein Vakuum[1]).

Alexander von Humboldt, Sohn des Majors Georg von Humboldt, der im Siebenjährigen Krieg gedient hatte, genoß zusammen mit seinem zwei Jahre älteren Bruder Wilhelm eine sorgfältige Erziehung auf dem elterlichen Schloß Tegel bei Berlin. Beide Brüder besuchten keine öffentliche Schule bis sie zur Universität kamen. Nach mehrjährigem, vielseitigem Studium begab sich Alexander auf weitausgedehnte Reisen bis ins Innere von Nord- und Süd-Amerika und nach Asien, worüber er ein sehr umfangreiches Werk veröffentlichte, welches viele geographische, meteorologische, zoologische, botanische, geologische, historische und andere Ergebnisse enthält. Von 1827 an nahm er auf dringenden Wunsch des Königs von Preußen ständigen Aufenthalt in Berlin. Hier hielt er zunächst Vorlesungen über physikalische Geographie vor großem Zuhörerkreis an der Universität und wandte sich dann der Bearbeitung seines zweiten großen Werkes, des „Kosmos“ zu, dessen Leitgedanken er in einem Briefe selbst folgendermaßen ausdrückt: „Ich habe den tollen Einfall, die ganze materielle Welt, alles was wir heute von den Erscheinungen der Himmelsräume und des Erdenlebens, von den Nebelsternen bis zur Geographie der Moose auf den Granitfelsen wissen, alles in Einem Werke darzustellen, und in einem Werke, das zugleich in lebendiger Sprache anregt und das Gemüt ergötzt. Jede große und wichtige Idee, die irgendwo aufglimmt, muß neben den Tatsachen hier verzeichnet sein. Es muß eine Epoche der geistigen Entwickelung der Menschheit (in ihrem Wissen von der Natur) darstellen.“ Das von ihm viel gefeilte, dann aber auch von vielen gelesene Werk begann erst 1845 zu erscheinen; es beschäftigte ihn bis zu seinem Tode, ins hohe Alter von fast 90 Jahren.

[1]) Die Untersuchung, in welcher Gay-Lussac im Jahre 1807 das Letztere nachweist, ist später besonders dadurch wichtig geworden, daß Robert Mayer seine Berechnung des mechanischen Wärmeäquivalents einwandfrei darauf stützen konnte; sie findet sich neu abgedruckt im Anhang von E. Mach's „Prinzipien der Wärmelehre“ (Leipzig 1896).

Humboldt war ein Forschergeist ohne einzelnen großen Forschererfolg. In seiner Vielseitigkeit gleicht er Leibniz, ebenso in der besonderen Beschaffenheit seiner Persönlichkeit, wodurch er befähigt war, ausgiebig auf seine Zeitgenossen und noch auf das folgende Lebensalter zu wirken. Er hat dadurch eine hohe Auffassung des Forscherberufes, sowie



Bild 35. Alexander von Humboldt.

die Geltung des sittlich veredelnden Wertes der Forschungsergebnisse wesentlich gefördert — in diesem Sinne stellt er auch in seinem „Kosmos" die Ergebnisse der Naturforschung für Naturfreunde wirksam dar, nicht für Nutznießer —, und solche allzuselten zu treffende Geltendmachung der Leistungen der Vergangenheit ist sicher mehr wert als die Beibringung einer neuen Entdeckung, wenn diese nicht Menschen antrifft, die zum rechten Verstehen erzogen sind.

Humphry Davy (1778—1829)
und
Jakob Berzelius (1779—1848).

Dies sind die beiden großen Forscher, die den von Volta's Säule so reichlich gelieferten elektrischen Strom zum ersten Mal zu gründlichen und durchgreifenden chemischen Untersuchungen benutzten, — nicht ohne auch außerdem zu den hervorragendsten Geistern ihrer Zeit zu gehören.

Daß der elektrische Strom, durch wässerige Flüssigkeiten geleitet, Zersetzung bewirkt und die beiden gasförmigen Bestandteile des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, entwickelt, diese an sich höchst neuartige und wunderbare Tatsache zu entdecken, konnte nicht fehlen, sobald nur Jemand die Säule instand hatte und ihre beiden Enddrähte in gewöhnliches Wasser tauchte. So war es schnell bekannt geworden, daß hier ein ungeahnt mächtiges Hilfsmittel zu chemischen Forschungen vorliegt. Noch nicht lange vorher war die Zerlegung des Wassers in glühenden Eisenröhren Gegenstand des Studiums gewesen, und es zeigte sich sehr hohe Temperatur dazu nötig; hier — mittelst Volta's Säule — ging die Zersetzung ohne weiteres wie von selber vonstatten unter sauberer Trennung der beiden Bestandteile! Aber je leichter diese neuen Wirkungen zu beobachten waren, desto unreiner waren die Versuche, die nun in Menge schnell veröffentlicht wurden. Man wollte angeblich reines Wasser durch den Strom in Säuren und Basen verschiedener Art verwandelt gefunden haben, die an den Enddrähten durch Lackmus nachgewiesen wurden, und es entstand eine Wirrnis von Widersprüchen. Hier brachte zuerst Davy durch eine große Zahl nach äußerster Reinheit strebender Versuche Klarheit, worin ihm dann auch Berzelius bald folgte. Sie zeigten, daß die Säuren und Basen nur Verunreinigungen des Wassers entstammen, und daß auch die elektrische Zersetzung keine neuen, sondern die beiden schon bekannten Bestandteile des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, ergibt. Verblüffend, ja teilweise irreführend war dabei der Umstand, daß man zwei Wassermassen in getrennten Gefäßen haben konnte, jedes mit einem der Enddrähte der Säule versehen und beide miteinander nur etwa durch einen feuchten Docht verbunden, und daß dann aus dem einen Wasser nur allein Wasserstoff, aus dem anderen nur allein Sauerstoff sich entwickelte. Aber weder Davy noch Berzelius ließen sich durch die hier vorliegende, in der Tat erst etwa 70 Jahre später durch Hittorf's besondere Untersuchungen genügend geklärte Schwierigkeit des Verständnisses beeinträchtigen, sondern sie studierten vor allem eingehend und beharrlich in möglichst reinen Ver-

suchen die Stromwirkung auf eine sehr große Zahl von Stoffen, besonders auch in der Absicht, über deren Zerlegbarkeit oder Unzerlegbarkeit Aufschluß zu erhalten.

Hierbei war Davy, diesem höchst lebhaft denkenden, immer zuversichtlich in Naturgeheimnisse schauenden Forscher, eine wunderbare Entdeckung beschieden (1807): er fand die vorher nie gesehenen, wohl als Bestandteile der altbekannten ätzenden Alkalien schon seit 20 Jahren vermuteten, aber nicht aus ihnen abscheidbar gewesenen Metalle Kalium und Natrium mit ihren höchst merkwürdigen, ungeahnten Eigenschaften. Aus Lösungen der Alkalien gelang ihm die Abscheidung nicht; es wurde nur Wasser zersetzt. Er hielt dann die Alkalien über einer Gebläseflamme in wasserfreiem Zustand geschmolzen, und hier zeigten sich am negativen Draht bemerkenswerte Feuererscheinungen, deren Ursprung aber nicht befriedigend verfolgbar war. Als er jedoch die Enden einer vielplattigen Volta'schen Batterie, die er zu diesen Studien zusammengestellt hatte, mit einem Stück halbfeuchten Ätzkalis verband, das durch die Stromwärme geschmolzen wurde, sah er am negativen Drahte vollkommen metallisch glänzende Kügelchen auftreten; sie waren das gesuchte neue Metall! Auf Wasser gebracht, entzündete es sich und brannte augenblicklich, schwamm auf dessen Oberfläche, und es bildete sich wiederum Kali. Nicht nur die für ein Metall höchst ungewöhnlichen Eigenschaften an sich, die Kenntnis ganz neuartiger Körper, machte das Besondere der Entdeckung aus, sondern es war nun klar, daß auch die anderen noch unzerlegten Alkalien und Erden Sauerstoff-Verbindungen noch unbekannter Metalle sein müßten. In der Tat schied Davy selbst nun bald auch Natrium, Kalzium, Strontium, Barium, Magnesium in metallischem Zustand ab, und diese Körper waren bald selber wieder weitere, wirksame Mittel der chemischen Forschung. Davy studierte ihre Eigenschaften schon weitgehend in vielen sorgfältigen Versuchen, soweit es die damaligen Hilfsmittel erlaubten. Hier trat dann ein, was so oft in der Geschichte der Wissenschaft und Technik bemerkenswert ist: Schon die Feststellung des Daseins und der Eigenschaften neuerkannter Dinge genügt, um dieselben bald auch in beliebig großem Maßstabe zu erfassen. Ein Ziel, dessen Beschaffenheit und Richtung schon gesehen werden kann, wird bald auch auf anderen Wegen erreichbar, — es ist keine Entdeckerfahrt mehr dahin, sondern nur eine Reise. So erweckten Davy's Entdeckungen sogleich neue Anstrengungen, diese neuen Metalle nun vielleicht doch auch durch rein chemische Mittel abzuscheiden, was dann beim Natrium sogar schon nach einem Jahr gelang (Reduktion mittels Kohle und Eisen bei hoher Temperatur) und bald zu dessen Herstellung im großen führte.

Auch sonst war Davy's vielseitige Forschertätigkeit immer mit höchst eindringlicher Klarheit auf Grunderkenntnisse gerichtet. Als er mittels seiner großen Volta'schen Batterie zuerst die Erscheinung des elektrischen Lichtbogens zwischen zwei Kohlen hervorbrachte, war ihm sofort auch die starke Wärmeentwickelung hierbei von tiefer Bedeutung.

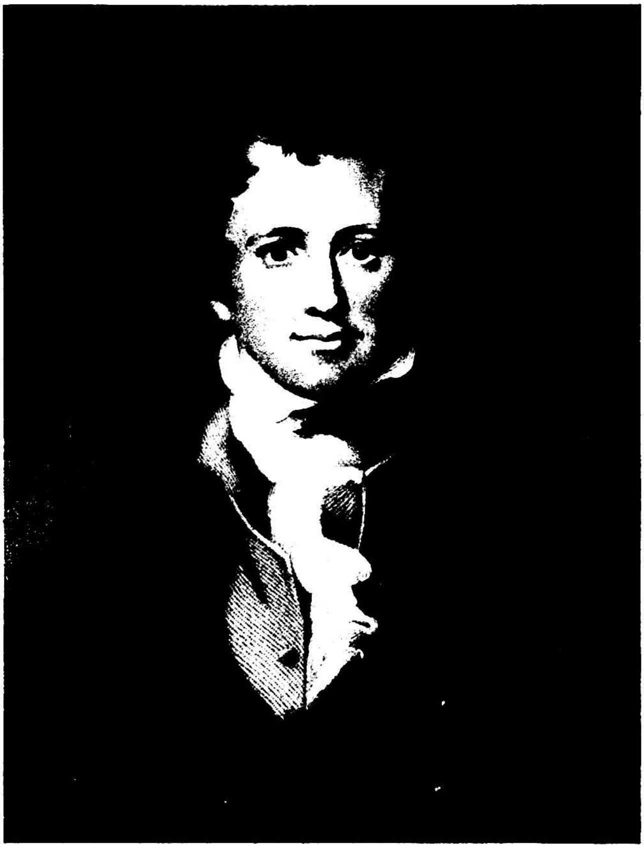


Bild 36. Humphry Davy, in jüngeren Jahren.

Er erkannte, daß hier, ebenso wie in Graf Rumford's Kanonenversuch und in seinen eigenen Reibungsversuchen, die damals noch immer geläufige Vorstellung von einem besonderen Wärmestoff zur Erklärung unzureichend ist; denn es konnte nicht angegeben werden, woher die Wärme des elektrischen Bogens und auch die von galvanisch glühenden Drähten gekommen sei.

Noch viel bemerkenswerter Forschungen Davy's wäre zu gedenken. Es seien die über das Chlor hier genannt, dessen Element-Natur er zuerst genügend sicherstellte, nachdem man immer noch Sauerstoff darin vermutet hatte. Er schlug dann auch den Namen „Chlor" für dies Element vor, anstelle der bis dahin gebrauchten Bezeichnungen „dephlogistisierte Salzsäure" (Scheele, — was seit Kenntnis des Wasserstoffs allmählich schon ungefähr soviel hieß als: von Wasserstoff befreite Salzsäure —) oder „oxydierte Salzsäure" (Lavoisier). Auch fand und studierte er manche neue Chlorverbindungen, so auch den sehr explosibeln Chlorstickstoff.

Viele andere Leistungen, darunter auch gemeinnützige Erfindungen, für die er aber Patente verschmähte, können hier nicht aufgezählt werden. Doch sei bemerkt, daß Davy auch den Anfang zu eingehenden Studien jener besonderen Art chemischer Vorgänge machte, die man heute — mit dem von Berzelius dann eingeführten Namen — katalytisch nennt. Es sind das chemische Umsetzungen, zu deren Ablauf die Gegenwart eines besonderen Stoffes, des „Katalysators", notwendig ist, ohne daß derselbe aber dabei verbraucht würde. Davy benutzte Platin als Katalysator, und dieses Metall war bei dessen gut verbürgter Unveränderlichkeit auch sehr gut geeignet zu reinen Versuchen. Er brachte Vereinigungen verschiedener Gase und Dämpfe mit Sauerstoff an einer Platindrahtspirale hervor bei Temperaturen, die sonst nicht zur Vereinigung genügten. Wenig später (1823) kam J. W. Döbereiner im Verlauf seiner Arbeiten über das Platin zu der damals höchst erstaunlichen Entdeckung, daß Wasserstoff, in Luft gegen feinzerteiltes Platin strömend, sich von selbst entzündet[1]). Dieser einfache Vorgang lenkte zum ersten Male alle Aufmerksamkeit auf das Besondere solcher reaktionsvermittelnder Wirkungen ohne Stoffverbrauch. Viele solche und verwandte Vorgänge wurden dann aufgefunden, und ihr Studium nahm dauernd zu. Man lernte Katalysatoren sehr verschiedener Art kennen, und allmählich wurde ihre Zuhilfenahme zur Bewirkung chemischer Umsetzungen auch in großem Maßstabe, in der chemischen Industrie, geläufig. Die in vielen Anwendungen wichtige katalytische Bindung des Luftstickstoffs zu Ammoniak und zu Salpetersäure sind besondere Beispiele hierfür aus neuester Zeit.

[1]) Döbereiner, lebte 1780—1849, war Professor der Chemie in Jena. Er zeigte sich in seinen zahlreichen Arbeiten als echter Forscher. Seine oben genannte Entdeckung führte zur Herstellung einer Zündvorrichtung, die vor der Zeit der Streichhölzer und auch später noch lange in Gebrauch war. Gewinn aus Anwendung seiner Ergebnisse lehnte er — gleich Davy — ab; er stellte sie „aus Hochachtung vor der Wissenschaft" ohne weiteres der Allgemeinheit zur Verfügung. (Vgl. Theis, „Döbereiners katalytische Sendung"; angewandte Chemie, Bd. 50, S. 46, 1937.)

Davy stammte aus einer normannischen Familie[1]), die im Südwesten von England ansässig war. Sein Vater war ein armer Holzschnitzer. Er besuchte bis zum 15. Jahr eine Schule, was er aber ungern tat; er schrieb später: „Auf eine natürliche Art zu lernen, ist ein wahres Vergnügen; wie schlimm ist es, daß es in den meisten Schulen nur Ver-



Bild 37. Sir Humphry Davy. Nach dem Gemälde von Lonsdale.

druß verursacht". Dann kam er zu einem Wundarzt und Apotheker in die Lehre. Hier trieb er nebenher ganz umfassende Studien aus allerlei

[1]) Siehe „Denkwürdigkeiten aus dem Leben Sir Humphry Davy's", herausgegeben von seinem Bruder John Davy. Deutsch Leipzig, 1840 bei Voß. Davy war (siehe dort, Bd. IV, S. 192 ff.) von mittlerer Größe; Haar- und Augenfarbe lichtbraun; der Hinterkopf klein; das Haargespinst äußerst fein, wenig gelockt; die Nase eine Adlernase.

Büchern. Eingehender beschäftigte er sich zunächst mit Geometrie und Mathematik, erst später mit Chemie, die ihn dann ganz erfaßte, so daß er bald anfing, selbständige Gedanken zu entwickeln. Er dichtete außerdem gern in Versen. Bei den Kranken, die er zu verbinden hatte, war er sehr beliebt, wie überhaupt Liebenswürdigkeit, Hilfsbereitschaft und Entgegenkommen durch sein ganzes Leben an ihm gelobt wurden.

Mit 19 Jahren trat er in eine damals neugegründete Anstalt ein, die sich zur Aufgabe stellte, die in den vorangegangenen Jahren entdeckten verschiedenen Gasarten zu Heilzwecken verwertbar zu machen. Nichts hätte wohl für Davy's Betätigung damals vorteilhafter sein können, als diese Stellung, in welcher ihm nun ein besonderes Laboratorium für chemische Versuche zur Verfügung stand. Er arbeitete hier besonders über das Stickoxydulgas, das er — wie auch andere Gase — nach gehöriger Bearbeitung einer geeigneten Bereitungsweise ausgiebig durch Einatmung an sich selbst erprobte und worüber er im Jahre 1800 ein besonderes Werk veröffentlichte, worauf dieses Gas, den von Davy gefundenen Wirkungen nach auch Lachgas oder Lustgas genannt, bald ein beliebtes Betäubungsmittel für kleinere chirurgische Eingriffe wurde. Schon 1801 erhielt er darauf von Graf Rumford den Antrag, an dessen Neugründung, die „Royal Institution" nach London zu kommen, wo er ein noch besser eingerichtetes Laboratorium erhielt und die Verpflichtung übernahm, jährlich eine gewisse Anzahl Vorlesungen für große Zuhörerschaft zu halten[1]). Hier führte er die Arbeiten mit Volta's Batterie durch, deren wir schon oben gedachten, und die dann unter anderem auch Gegenstände seiner Vorlesungen wurden. Es mag erstaunlich sein, daß er, ohne nennenswerte Übung als Vortragender zu haben, hier sogleich mit größtem Erfolg auftreten konnte. Jedoch, nicht nur seine dichterische Begabung und seine immer ungehemmt gebliebene Begeisterung für die selbstgewählten Gegenstände seiner Arbeit sicherten ihm diesen Erfolg; es wirkten jedenfalls auch seine glanzvollen Vorführungen so ganz neuartiger Ereignisse mit, wie es Volta's Batterie mit ihren Wirkungen, die Besonderheiten der mit ihr gewonnenen Alkalimetalle oder der elektrische Bogen waren. Wohl seit Galilei die Jupiter-Monde und Guericke die Magdeburger Halbkugeln zeigen konnte, war kein so großer öffentlicher Eindruck von reinen Naturforscher-Erfolgen dagewesen. Doch Davy hat seine Vorlesungen durch die Tiefe der Auffassung von Naturforschung, welche er hier verbreitete, und durch treffende historische Darlegungen auch zu einem hervorragend vornehmen Erziehungsmittel für Alt und Jung und für alle Kreise werden lassen. Er hat damit auch den Ruf der „Royal Institution" ganz in dem von

[1]) Eine kurze Zeit lang hatte dort vor Davy schon Thomas Young gewirkt.

Rumford gewünschten Sinne fest begründet; der Ruf dauerte dann, mit Faraday und Tyndall, ein Jahrhundert lang an.

Solche unermüdlich fortgesetzte Tätigkeit brachte ihm hohe Anerkennung; im Jahre 1812 wurde er in den Adelsstand erhoben, und auch von auswärts blieben Ehrungen nicht aus. Im gleichen Jahre verheiratete er sich. Seine Frau war sehr begütert, und dies ermöglichte ihm große, über Jahre ausgedehnte Reisen fast durch ganz Europa. Er führte dabei stets eine kleine Laboratoriums-Einrichtung mit sich, und die Arbeitsgedanken verließen ihn nie. Im Jahre 1820 wurde er zum Präsidenten der „Royal Society" erwählt, was er als höchste Auszeichnung empfand, da Newton es gewesen war. Seit etwa 1826 nahmen seine Kräfte ab; er suchte Erholung wieder auf großen Reisen, wobei er Italien, Tirol und die Schweiz bevorzugte; Angelfischerei in den Alpenbächen war dabei eine seiner Lieblings-Vergnügungen. Doch war ihm die Wiederherstellung nicht beschieden; er verstarb, auf der Heimreise begriffen, in Genf, nur 51 Jahre alt.

Berzelius war in Ostgotland geboren, wo sein Vater Schulvorstand war. Er studierte in Upsala Medizin und Chemie, erwarb 1802 den medizinischen Doktorgrad mit einer Arbeit über die Wirkungen von Volta's Säule auf organische Körper und war dann als Arzt und zugleich Lehrer der Chemie tätig. Seine Arbeiten betrafen — wie die Davy's — keineswegs nur die chemischen Wirkungen von Volta's Batterie, sondern überhaupt den ganzen Umfang der Chemie. Doch war Berzelius mehr dem Exakt-Quantitativen zugeneigt und darin etwa Klaproth verwandt. So hat Berzelius auch die Methoden zur Ermittelung der quantitativen Zusammensetzung der aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff bestehenden Pflanzenstoffe zuerst brauchbar ausgebildet, dem von Lavoisier und Gay-Lussac gegebenen Wege folgend. Wohl noch nie seit Scheele vereinigte ein Forscher auch eine solche Fülle von Einzelkenntnissen bei sich, wie Berzelius. Dabei hat er, seit 1807 als ordentlicher Professor der Chemie in Stockholm tätig, auch eine große Zahl von Schülern herausgebildet, die später nach seinem Vorbild die Chemie weiter förderten[1]). Er hat die Atomgewichts-Tabellen nach Dalton mit steigender Genauigkeit vervollkommnet, und von ihm stammt die heute allgemein gebrauchte Bezeichnungsweise der Atome mit Buchstaben, deren Nebeneinandersetzung mit Angabe der Zahl der Atome die Molekularformel ergibt. Dalton hatte die Atome als kleine Kreise mit eingezeichneten Unterscheidungsmerkmalen abgebildet; Berzelius' Abbildungsweise war allmählich geeigneter geworden, da die

[1]) Davy hatte einen Schüler, der für viele zählte: Faraday. Man sagte später: Faraday sei Davy's schönste Entdeckung gewesen.

Anzahl der genügend festgestellten Grundstoffe sich gemehrt hatte, während aber doch über die räumliche Gruppierung der Atome im Molekül lange gar nichts ermittelbar geworden war, so daß es für wahrheitsbesorgt denkende Forscher, wie Berzelius, ein Bedürfnis wurde, in den Molekularformeln bildliche Andeutung von Gruppierung lieber zu vermeiden.



Bild 38. Jakob Berzelius.

Auch Berzelius durfte sich höchster Anerkennungen und Auszeichnungen erfreuen. Er war seit 1835 verheiratet. Sein Lebensalter kam auf 69 Jahre.

Sowohl Davy als Berzelius — der erstere etwas früher[1] — haben aus ihren Erfahrungen über die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes Schlüsse auf die Beschaffenheit der Atome

[1]) Siehe Kopp, „Geschichte der Chemie", Bd. II, S. 334—341.

gezogen; sie erkannten, daß die Atome elektrische Ladungen entweder von vornherein enthalten (Berzelius), oder bei ihrer Berührung einander mitzuteilen befähigt sein müssen, einzeln im Molekül ebenso wie in großen Massen bei den Platten von Volta's Säule (Davy). Es war dies zum ersten Mal, daß Einzelheiten von den Atomen aus wohlgegründeter Erfahrung erschließbar erschienen, und diese Einzelheiten waren elektrischer Art. Dauerte es auch noch mehr als 80 Jahre, bis (durch das Studium von Hittorf's Kathodenstrahlen) wieder wesentlich neue Erfahrung hinzukam, die aber zu jenen ersten Schlüssen nur Bestimmteres in gleicher Richtung hinzufügte und alle Zweifel löste, so war doch Davy's und Berzelius' erste Feststellung, daß den Atomen elektrische Kräfte zugeschrieben werden müssen, ja daß sie durch elektrische Kräfte einander im Molekül zusammen halten — daß also die chemischen Kräfte elektrische Kräfte seien — durch all diese Jahre ein guter Wegweiser für die Forschung geblieben, nur zu deren Nachteil zeitweise wie vergessen. Sie darf in der Tat als der Anfang des Vordringens zu Kenntnissen über die innere Beschaffenheit der Atome betrachtet werden.

Thomas Young (1773—1829), Josef Fraunhofer und Augustin Fresnel (1787—1826) (1788—1827).

Nun war auch für die Kenntnis vom Licht die Zeit gekommen, einen Sprung nach vorwärts zu tun. Fraunhofer in München und Fresnel in Paris haben dies in verschiedenen Weisen bewirkt, wobei ihnen Thomas Young in England in gewissem Maße vorgearbeitet hatte.

Fraunhofer war es, der zuerst höchst verfeinerte optische Hilfsmittel zubereitete, zugleich auch für die Kunst von deren Herstellung neue Wege weisend, so daß diese Kunst von da ab gesichert weiter sich entwickeln und verbreiten konnte. Seine verfeinerten optischen Erzeugnisse waren aber nicht nur schon bekannter Art, wie seine astronomischen Fernrohre von bis dahin unerreichter Leistung, sondern sie boten auch Neuartiges, wie seine optischen Gitter, die vermöge der Vollkommenheit ihrer Ausführung ihm auch selbst gestatteten, der Natur des Lichtes in neuer Weise beizukommen.

Fresnel war es, der die von Huygens und nachher von Thomas Young schon gedachten Wellen des Lichtes zur Gewißheit erhob, der also als Begründer der Wellentheorie des Lichtes zu nennen ist. Er war feiner Beobachter entlegener Erscheinungen des Lichtes, wie

Newton schon die Farben dünner Blättchen messend beobachtet hatte; jedoch, er machte den Fortschritt, solche Erscheinungen, die man auch vor ihm schon durch Wellen zu erklären versucht hatte, nicht nur auf diese Möglichkeit hin weiter zu untersuchen, sondern geradezu mit den Lichtwellen zu experimentieren, derart, daß ihr Dasein oder Nichtdasein in vielfach planmäßig abgeänderten Versuchen auf entscheidende Proben gestellt wurde. So wie vor Jahrhunderten die Physik der Materie allmählich vom Beobachten des mehr oder weniger von selbst sich



Bild 39. Thomas Young.

Darbietenden überging zum eingehend planvollen Experimentieren, so trat jetzt der gleiche Übergang für die von Huygens begründete Physik des Äthers ein. Wären nicht die Gebiete des Äthers, des Trägers aller bekannten und unbekannten Erscheinungen des Lichtes, der Elektrizität und des Magnetismus, so offenbar unermeßlich ausgedehnter als die der Materie, so könnte man Fresnel als den Galilei des Äthers benennen; aber freilich, während Galilei experimentierend schon weit zur Erkenntnis des allgemeinen Verhaltens der Materie durchdringen konnte, so bleibt doch für den Äther auch heute, nach Faraday, Robert

Mayer und Hasenöhrl, immer noch die Empfindung, daß man mit seiner Erkenntnis erst ganz in den Anfängen ist.

Jedenfalls verdanken wir Fresnel die gesicherte Kenntnis davon, daß der Äther Wellen machen oder geben oder tragen kann, die mit der schon von Römer ermittelten Geschwindigkeit in ihm laufen, deren Längen — von Berg zu Berg oder Tal zu Tal gerechnet, ohne noch sagen zu können was hierbei Berg und Tal im einzelnen anderes bedeuten sollen als einander entgegengesetzte Zustände[1]) — Fraunhofer mit seinem dazu geschaffenen Mittel, dem optischen Gitter, zum ersten Mal mit sehr erheblicher Genauigkeit ausgemessen hat und für deren Wahrnehmung wir mit dem besonderen Organ, dem Auge, begabt sind.

Fraunhofer's und Fresnel's kurze Lebenszeiten fallen fast auf das Jahr zusammen; dem entspricht es, daß ihre Arbeiten so gut wie gleichzeitig waren. Auch darin waren sie einander gleich, daß sie zu ihren außerordentlichen Leistungen gar nicht irgendwie vorgeschult waren; um so deutlicher ist es, daß dieselben ganz ihrer mitgebrachten Begabung entsprangen, durch welche getrieben, sie der nötigen Vorkenntnisse schon von selber habhaft wurden.

Thomas Young, etwa 15 Jahre älter als Fraunhofer und Fresnel, hatte an mehreren Universitäten hauptsächlich Medizin studiert und war dann Arzt in London. Dies genügte aber seinem sehr tätigen Geist keineswegs, und als reicher Mann war er auch stets frei, seinen vielseitigen Interessen nachzugehen. Dazu gehörte auch seine Vertiefung in Newton's sowie Huygens' Schriften, wobei er dazu kam, Newton's eingehende Beobachtungen über die Farben dünner Blättchen und über Beugung versuchsweise nach Huygens' Annahme der Wellennatur des Lichtes zu deuten, was mit Zuhilfenahme der von Newton über die Schallwellen und Wasserwellen schon geförderten Erkenntnis so vortrefflich gelang, daß Fraunhofer sowie Fresnel in Young's Schriften schon eine gut vorbereitete Grundlage für ihre weiteren Forschungen vorfanden.

Fraunhofer war zu Straubing an der Donau als letztes, elftes Kind eines in dürftigen Verhältnissen lebenden Glasermeisters ge-

[1]) Fraunhofer sagt selbst, in einer für ihn als echten Naturforscher sehr bezeichnenden, sowohl im Erkannten bestimmten als im Unbekannten vorsichtigen Weise über die „Wellenlängen" des Lichtes: „Was man übrigens auch unter dieser Größe sich denke, so muß sie in jedem Fall von der Natur sein, daß die eine Hälfte derselben in Hinsicht der Wirkung der anderen Hälfte entgegengesetzt ist, so daß, wenn eine vordere Hälfte mit einer hinteren Hälfte genau zusammentrifft . . ., die Wirkung sich aufhebt, indessen sie sich verdoppelt, wenn z. B. zwei vordere oder auch zwei hintere Hälften in einem Sinne zusammenwirken. Dies ist bei der Interferenz zugrunde gelegt." (Veröff. d. Bayr. Akademie 1823; siehe Lommel, „Fraunhofers gesamm. Schriften", S. 137.)

boren. Früh verwaist, kam er mit 12 Jahren in die Lehre zu einem Spiegelmacher und Glasschleifer in München, dem er auch in Haushalt und Küche dienen mußte, mit Verpflichtung auf 6 Jahre, weil er kein Lehrgeld zahlen konnte. Nach 2 Jahren stürzte das Haus seines Lehrherrn ein, und Fraunhofer war unter den Trümmern begraben. Wie durch ein Wunder konnte er unverletzt wieder herausgeholt werden, und dies Ereignis erregte so sehr die Anteilnahme des regierenden Fürsten, daß dieser dem armen und schwächlichen Jungen ein erhebliches Geldgeschenk machte; auch wurde er mit Büchern unterstützt, die es bei seinem Lehrherrn nicht gab. Das Geschenk wandte Fraunhofer einesteils an, um sich von seinem Lehrherrn freizukaufen, vom andern Teil verschaffte er sich eine Glasschleifmaschine. Außerdem erlernte er das Metallgravieren und Kupferstechen in der Hoffnung, sich nun selbständig machen zu können. Doch gelang es ihm nicht, seinen Unterhalt zu erwerben, so daß er nichts besseres sah, als wieder bei seinem früheren Lehrherrn, diesmal als Geselle, einzutreten. Zwei Jahre später, mit 20 Jahren, wurde er in einer größeren optischen Anstalt aufgenommen, der er dann selbst zu ruhmvoller Entwicklung verhalf[1]). Er verbesserte bald alle Maschinen, besonders aber auch das Glasschmelzen. Es gelang durch seine Bemühungen Flintglas (bleihaltiges Glas von großem Brechungsvermögen und großer Farbenzerstreuung) in größeren Stücken schlierenfrei und auch sonst für feinste optische Verwendung brauchbar herzustellen, und er führte auch genaue Kontrolle der Brechungsvermögen der Gläser ein, durch Ausmessung von deren Brechungsexponenten (nach dem Snell'schen Brechungsgesetz) mittels Prismen, die aus den Gläsern geschliffen wurden.

Diese Bemühungen führten Fraunhofer zu zwei hervorragenden Erfolgen. Der eine war die Entdeckung der „Fraunhoferschen Linien" im Sonnenspektrum, die Newton nicht gesehen hat; der andere war die Möglichkeit, wirksamere und größere Linsen-Fernrohre als bisher, namentlich zu Meßzwecken, der Astronomie zur Verfügung zu stellen. Es seien diese beiden Leistungen gesondert und in ihrem Zusammenhange betrachtet.

Aus dem guten Glase konnte Fraunhofer Prismen schleifen, die viel reinere Spektren gaben, als Newton sie jemals haben konnte. Zudem war ihm die volle Erkenntnis der sonstigen Erfordernisse zur Erzeugung reiner Spektren eigen: Anwendung einer feinen Spalte für den Lichteinlaß, paralleler Strahlengang im Prisma und, damit verbunden, Beobachtung durch ein Fernrohr. Das Ergebnis war sofort — wie so oft im Gefolge reiner Versuche — eine neue Entdeckung: er sah im

[1]) Siehe M. v. Rohr, „Josef Fraunhofer's Leben, Leistungen und Wirksamkeit", Leipzig 1929.

Spektrum des Sonnenlichtes die seither nach ihm benannten dunklen Linien, und er wies unter genauer Vermessung der Lagen dieser Linien durch mannigfache Abänderung der Versuchsbedingungen nach, „daß diese Linien in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und daß sie nicht durch Beugung, Täuschung usw. entstehen"[1]). Er erhielt sie in der Tat unter allen Umständen in gleicher Weise, sobald nur ein reines Spektrum des Sonnen- oder Tageslichtes entworfen war. Auch im Lichte der Venus suchte und erhielt er sie; Fixsterne, deren er einige helle untersuchte, zeigten aber anders gruppierte Linien. Fraunhofer konnte noch nicht ermessen, daß hier der Eingang zu einer chemischen Analyse der Sonnen- und Fixstern-Atmosphären eröffnet sei, wozu erst 45 Jahre später Bunsen's und Kirchhoff's vereinte Bemühungen führten. Doch waren nun die Linien des Sonnenlichtes, als diesem besonders eigen, als Wahrzeichen für künftige Forschung fest stehen geblieben. Fraunhofer vermeidet in seiner höchst bescheidenen, aber in allem, was damals wirklich sicherzustellen war, ganz eindringlichen Weise jedes Eingehen auf bloße Vermutungen; dafür liefert er eine genaue Darstellung dieser dunklen Linien des Sonnenspektrums in einem von ihm selber ausgeführten Kupferstich, die in ihrer Vollendung ebenfalls bis Kirchhoff unübertroffen geblieben ist. Außerdem benutzt er die Linien — die er mit den heute noch gebrauchten Buchstaben (von A im Rot bis H im Violett) bezeichnet — sofort als feste Marken im Sonnenspektrum, die es ermöglichen, genau bestimmte Lichtarten immerwieder auszuwählen, was in der bisherigen Weise, durch bloße Angabe der Farbe, nicht möglich gewesen war.

Dies war von großer Wichtigkeit, wenn das Brechungsvermögen einer etwa für Linsen bestimmten Glassorte für die verschiedenen Farben gemessen werden sollte, was zur Herstellung guter achromatischer (von Farbenzerstreuung freier) Fernrohrlinsen unerläßlich war. Man hatte schon vor mehr als 60 Jahren begonnen, achromatische Linsen aus zwei verschiedenen Glassorten zusammenzustellen; doch war das Gelingen unsicher, wenn nicht die Brechungsvermögen der zwei Gläser für die verschiedenen Farben bestimmten Bedingungen genügten. Dies mit Hilfe der Linien nachzumessen, und auch Gläser zu machen, die möglichst besser entsprachen, als die bis dahin üblichen, und die dabei auch schlierenfrei waren, dies war Fraunhofer's Weg zu den alles Dagewesene übertreffenden Riesenfernrohren, die er der Astronomie zur Verfügung stellte. Derselbe Weg ist auch seither maßgebend geblieben und

[1]) Diese Erkenntnis macht den Unterschied zwischen Fraunhofer's Entdeckung und einigen vorher schon gemachten Wahrnehmungen solcher Linien als zufälligen und je nach dem Apparat veränderlichen Erscheinungen, welche Wahrnehmungen in ihrer Unbestimmtheit folgenlos in Vergessenheit gerieten.

hat fortdauernd zu immer weiteren Erfolgen der technischen Optik geführt. Huygens' Fernrohre, womit er die Ringe und Monde des Saturn entdeckte, hatten, wie die Galilei's, nur einfache Linsen; Newton war lieber zum Spiegelfernrohr übergegangen, das ohne weiteres farbenfrei war, und mit Spiegelfernrohren von stets wachsender Größe war man dann immer weiter in die Tiefen der Himmelsräume eingedrungen. Seit Fraunhofer kamen auch die Linsenfernrohre wie-



Bild 40. Josef Fraunhofer.

der zu steigender Geltung, wozu wesentlich auch seine sehr verbesserte mechanische Ausführung der Aufstellung und der zugehörigen Meßvorrichtungen beitrug. Mittels des für die Königsberger Sternwarte gelieferten Fraunhofer'schen Fernrohres gelang zum ersten Mal, was seit Kopernikus vergeblich gesucht wurde und worum schon vor mehr als hundert Jahren Bradley so sehr sich bemüht hatte: die Auffindung einer Fixsternparallaxe. Der Stern 61 im Bilde des Schwans

zeigte zuerst eine solche halbjährliche, über seine Eigenbewegung (und die Aberration) gelagerte Verschiebung; sie betrug nur 0·3 Bogensekunden, woraus die Entfernung des Sternes leicht zu rund 10 Lichtjahren berechnet wurde. Auch der zweite Stern, an dem Parallaxe gefunden wurde, Wega (mit 27 Lichtjahren Abstand), war mittels eines Fraunhofer'schen Fernrohres ausgemessen; es war das der Dorpater Refraktor mit rund $^1/_4$ Meter Linsendurchmesser, was damals als Riesenfernrohr galt[1]), und 4 Meter Länge. Heute kennt man Parallaxen bereits von wohl über 1000 Sternen; der danach uns zuallernächst stehende, „Proxima Centauri" genannt, ein schwacher Begleiter von α im Kentaur, ist 4·3 Lichtjahre entfernt.

In seinen letzten Lebensjahren war Fraunhofer besonders viel mit der altbekannten Erscheinung der „Beugung" beschäftigt. Sie zeigt sich in sehr einfacher Weise, wenn Licht, z. B. von der Sonne, durch eine sehr enge Öffnung in ein dunkles Zimmer tritt und ihm hier Hindernisse entgegengestellt werden, z. B. ein Haar oder ein Schirm mit einer feinen Öffnung. Man findet dann in dem Schattenbild des Hindernisses eine Lichtverteilung, die deutlich eine Abweichung von der geradlinigen Ausbreitung erweist: ein Um-die-Ecke-Gehen des Lichtes. Dies ist die schon von Grimaldi[2]) eingehend beschriebene „Beugung". Newton hatte sie mit Abänderungen experimentierend weiter untersucht und hat damit Grundlagen zur Deutung der im Einzelnen verwickelten Erscheinungen geliefert; aber erst Fresnel gelang es, zu einem Verständnis durchzudringen. Ohne daß dies schon vollständig erfolgt war — schon vor Fresnel's für die Wellennatur des Lichtes überzeugendem Spiegelversuch —, hatte Fraunhofer auf Grund der Kenntnis von Young's Darlegungen einen großen Schritt vorwärts getan, der zu einer neuartigen, in so vollkommener Entwicklung bis dahin unbekannten Erscheinung führte, zu den reinen Gitterspektren, die im Gegensatz zur Winzigkeit und Lichtschwäche der altbekannten Beugungserscheinungen eine prächtige Farbenentwickelung bieten und die neue Wege eröffnet haben. Es erscheinen in diesen Spektren die einzelnen, verschiedenfarbigen Bestandteile des auf das Gitter fallenden, z. B. weißen Lichtes nebeneinander geordnet, wie im Spektrum des Prismas, mit der Besonderheit jedoch, daß sie genau nach ihren Wellenlängen angeordnet sind, z. B. das äußerste Rot genau doppelt so viel abgelenkt als ein äußerstes Violett, das halb so lange Wellen hat. Fraunhofer's erste

---

[1]) Vgl. hierzu A. Seitz, „Josef Fraunhofer und sein optisches Institut", Berlin 1926, S. 78 ff. Die Linsendurchmesser sind jetzt bis auf etwa das Vierfache gewachsen.

[2]) Grimaldi lebte 1618—1663 in Bologna. Newton beginnt das 3. Buch seiner „Opticks" mit der Nennung von Grimaldi.

Gitter bestanden aus feinsten Drähten, in großer Zahl genau parallel mit genau gleichen Zwischenräumen ausgespannt; dann ritzte er Gitter auf Glas, das mit Goldblatt belegt war, mit der Teilmaschine, die das Gold in parallelen Strichen wegnahm, schließlich mit einer sehr feinen Diamantspitze auf blankes Glas. Sein so hergestelltes feinstes Gitter hatte 300 Linien auf 1 mm. Je feiner das Gitter ist, desto ausgedehnter sind die Spektren, die es gibt. Fraunhofer fand in den Gitterspektren des Sonnenlichtes auch seine dunklen Linien wieder, — ein besonderer Nachweis für die Reinheit der Spektren sowohl als für die strenge Zugehörigkeit dieser Linien zum Licht der Sonne. Man benutzt heute für Spektraluntersuchungen das Gitter ebensosehr wie das Prisma; das erstere hat infolge seiner erwähnten Eigentümlichkeit den Vorzug, leicht und sehr genau Wellenlängen-Messungen zu gestatten, und Fraunhofer führte auch als erster solche Messungen mit einer Genauigkeit aus, z.B. an seinen Sonnenlinien, die vorher ganz unerreichbar schien. — Fast ein Jahrhundert nach Fraunhofer lernte man auch die inzwischen neuentdeckten, äußerst kurzwelligen Ätherstrahlen (Hochfrequenzstrahlen) mittelst Gitterspektren untersuchen; als Gitter von entsprechender Feinheit zeigten sich Kristalle mit ihren in gleichen Abständen regelmäßig angeordneten Atomen geeignet („Kristallgitter-Spektroskopie").

Fraunhofer gönnte sich bei seinen wissenschaftlichen Arbeiten und besonders bei seinem Wirken in seinem optischen Betriebe kaum jemals Rast, und auch bei einer im Jahre 1825 eingetretenen Lungenerkrankung nahm er keine Ausspannung; er war auch nicht verheiratet. Er führte ein ganz bescheidenes, anspruchsloses Leben; doch ehrte ihn die Münchener Akademie sehr. Die Krankheit wurde nicht geheilt; er starb nur 39 Jahre alt. Seine Grabstätte in München erhielt die Inschrift „Approximavit sidera" („Er hat die Gestirne nähergebracht"). Einer seiner Lebensschilderer[1]) rühmt an ihm — treffend zusammengefaßt, was aus seinen Werken und seiner Lebenstätigkeit hervortritt — „tiefgründigen Scharfsinn, mächtige Erfindungskraft, unermüdliche Ausdauer und seine strenge Wahrheitsliebe, seine technische Meisterschaft".

Fresnel stammte aus der Normandie; sein Vater war Architekt[2]). In den Schulen kam er schlecht voran; er lernte langsam und sehr schwer. Als er dennoch mit 16½ Jahren an die Pariser technische Hochschule kommen konnte, begann er rasche Fortschritte zu machen, nament-

[1]) E. Lommel, „Gesammelte Schriften von Josef Fraunhofer", München 1888, S. IX.

[2]) Man vgl. zum Folgenden „Oeuvres complètes de A. Fresnel", Paris 1870, 3 Bände.

lich in den mathematischen Wissenschaften. Mit etwa 20 Jahren war seine Ausbildung als Weg- und Wasserbau-Techniker vollendet, und er trat dann in dieser Eigenschaft in Staatsdienste. Dies blieb auch sein Haupt-Lebensberuf. Eine kleine Unterbrechung brachte das Jahr 1815, da Napoleon von Elba wieder landete und Fresnel durchaus den Truppen sich anschließen wollte, die seinen Einzug in Paris aufhalten sollten, obgleich er körperlichen Anstrengungen wenig gewachsen war. Halbtot kam er in Gefangenschaft, die jedoch sehr milde gehandhabt wurde. Zu dieser Zeit begann er seine optischen Studien, auf die er durch Nachrichten aus Sitzungen der Pariser Akademie kam, die ihn auf den einsamen Posten bei der Überwachung von Straßenbauten in Gedanken beschäftigten. Er las damals von „polarisiertem Lichte" und klagt brieflich, nicht erraten zu können, was das sei. Auf Bücher (wie die Physik von Hauy) gewiesen, war er bald soweit, mit einfachen Hilfsmitteln in Mußestunden durch experimentelle Studien selbst forschen zu können, und noch im selben Jahre 1815 legte er der Pariser Akademie seine erste, wertvolle Abhandlung über die Beugung des Lichtes vor. Von da ab, bis zum Jahre 1826, entstand dann die große Reihe seiner tiefgehenden optischen Untersuchungen, die bis heute nicht nur staunenswert, sondern mit ihren zahlreichen Ergebnissen auch ganz in Geltung geblieben sind. Die Bestreitung der Ausgaben für die benötigten experimentellen Hilfsmittel wurde ihm durch Eintritt in die Kommission für Leuchttürme und durch Übernahme eines Examinator-Postens bei der Technischen Hochschule ermöglicht; doch waren dies sehr beanspruchende Tätigkeiten, und ein milderes Amt war ihm versagt worden. Im Jahre 1824 war seine Gesundheit erschüttert; er begann an Bluthusten zu leiden. Sein Leben währte, wie das Fraunhofer's, nur 39 Jahre.

Fresnel ging bei seinen Untersuchungen von einfachen Fällen der Beugung aus, die schon bekannt waren, die er aber in allen Einzelheiten der Erscheinungen — die schon beim Schattenbild eines einfachen Haares oder einer einzigen Öffnung einigermaßen verwickelt sind — aufs feinste in zahlreichen Abänderungen, die jedesmal eine Fragestellung an die Natur bedeuteten, untersuchte. Er fand, daß die Erscheinungen durchaus einer Wellenausbreitung nach dem dafür von Huygens schon aufgestellten Prinzip entsprachen, wenn man berücksichtigt, daß Wellen immer „Interferenzen" geben können. In der Tat erklärten sich alle Beugungserscheinungen als Interferenzerscheinungen des gebeugten Lichtes. Die Beugung an sich — die krummlinige Ausbreitungsmöglichkeit — ist schon im Huygens'schen Prinzip enthalten. Die hinzukommenden Interferenzen waren im Grund auch nichts Neues, da sie beim Schall schon von Sauveur, zu Newton's Zeit, sehr beachtet worden waren; sie beruhen darauf, daß in jedem Wellenzuge, be-

liebiger Art, entgegengesetzte Zustände regelmäßig aufeinander folgen, wie Berg und Tal bei Wasserwellen, Verdichtung und Verdünnung bei Schallwellen, und zwar in Abständen von je einer halben Wellenlänge. Treffen an einer Stelle zwei Wellenzüge mit entgegengesetzten Zuständen in gleicher Stärke zusammen, so müssen sie sich vernichten, und solche gegenseitige Vernichtung zweier Wellenzüge wird „Interferenz" genannt. Mit gleichen Zuständen zusammenkommend verstärken sich die Wellenzüge. Beim Schall waren die „Schwebungen", die beim Zusammentreffen zweier nicht ganz gleich hoher Töne auftreten, von Sauveur bereits eingehend als Interferenzerscheinung erklärt. Ist Licht eine Wellenerscheinung, wie schon Huygens dachte, so muß es auch Interferenzen zeigen, und diese entstehen bei der Beugung durch Wegunterschiede („Gangunterschiede") von den verschiedenen, erleuchteten Punkten der beugenden Öffnung nach dem Schirm hin; eine halbe Wellenlänge Gangunterschied gibt stets entgegengesetzte Zustände und also Vernichtung, d.i. beim Licht Dunkelheit („Auslöschung") an der betreffenden Stelle des auffangenden Schirmes. Die Farben entstehen durch Verschiedenheit der Wellenlängen der verschiedenfarbigen Lichter; wird z.B. Rot aus dem weißen Licht ausgelöscht, so erscheint der Rest grün, was seit Newton's Farbenstudien schon klar war. In dieser Weise können aus den Farbenerscheinungen sogar die Wellenlängen der verschiedenfarbigen Lichter ermittelt werden.

Derartiges war schon vor Fresnel von Thomas Young im Falle von Newton's Ringen versucht worden, die er als Interferenzerscheinung deutete, wobei die durch Newton's Messungen gegebenen Zahlen nur umzudeuten waren, um die Lichtwellenlängen zu ergeben. Young hatte auch die verkleinerten Ringe, welche Newton erhielt, als er den Zwischenraum seines Farbenglases mit Wasser füllte, schon als verkleinerte Lichtwellenlängen im Wasser gedeutet. Ferner hatte er aus der verkleinerten Wellenlänge nach dem von Newton schon entwickelten Zusammenhang auf verkleinerte Lichtgeschwindigkeit im Wasser geschlossen, und aus Newton's Zahlen hatte er gezeigt, daß diese Verkleinerung ganz in dem Maße stattfindet, wie es Huygens' Erklärung der Brechung von Wellen entspricht, daß somit hier Alles aufs beste mit der Annahme einer Wellennatur des Lichtes stimmt. Auch hatte Young den ohne weiteres nicht verständlichen schwarzen Fleck im Mittelpunkt von Newton's Ringen in akustischer Analogie schon erklären können und diese Erklärung durch besondere, fein ausgedachte Versuche auf die Probe gestellt und bestätigt gefunden[1]).

[1]) Eine gute, auch sachkundig kritische Würdigung der Leistungen von Young, auch von Fresnel, Grimaldi, Malus, findet sich in E. Mach's Werk „Physikalische Optik", Leipzig 1921.

Hierauf baute Fresnel weiter, was allerdings bei den Beugungserscheinungen zu sehr umständlichen Rechnungen führte, die ohne Newton's und Leibnizens Infinitesimal-Methoden niemals ausführbar gewesen wären. Es zeigte sich aber, daß auch die Erklärung der Beugungserscheinungen durch Annahme von Wellen vollständig gelingt und daß sie unter sehr weitgehend veränderten Versuchsbedingungen ausnahmslos sich bewährt. Hierbei und auch später noch arbeitete Fresnel zum Teil gemeinsam mit Arago (Mitglied der Pariser Akademie, lebte 1786—1853), dessen Zuneigung er schon durch seine erste der Akademie vorgelegte Arbeit über die Beugung gewonnen hatte.



Bild 41. Augustin Fresnel.

Fresnel begnügte sich aber nicht mit der vollständigen Erklärung der Beugungserscheinungen und der Farben dünner Blättchen aus der Annahme der Wellennatur des Lichtes, sondern er wollte diese Annahme für sich allein in einem möglichst reinen Versuch prüfen. Es mußte das ein Interferenz-Versuch einfachster Art sein, ohne alle Beugung, wobei zwei Strahlen nur meßbaren Gangunterschieden, sonst aber keinen verschiedenen Behandlungen unterworfen werden, so daß man abwechselnde Auslöschung und Verstärkung bei wachsendem Gangunterschied unmittelbar und ausschließlich als Zeichen des Vorhandenseins periodisch wechselnder entgegengesetzter Zustände längs des Strahles, d.i. einer Wellenbeschaffenheit desselben nehmen kann. Fast so einfach könnten schon Newton's Versuche mit den dünnen Blättchen erscheinen; jedoch hier spaltet sich ein Strahlenbündel in einen reflektierten und in einen gebrochenen Teil, der später reflektiert wird, und es ist die Möglichkeit nicht abzuweisen, daß die schon von Newton angenommenen, periodisch wechselnden verschiedengearteten Zustände im Strahl Zustände abwechselnd leichter Reflektierbarkeit und leichter Brechbarkeit sein könnten, nicht *einander entgegengesetzte* und daher beim Zusammentreffen einander vernichtende Zustände, wie sie einer Welle entsprechen. Solche Deutungsmöglichkeit war bei Fresnel's mit Recht

berühmt gewordenem Spiegelversuch ausgeschlossen, da hier die beiden Teile eines Strahlenbündels an zwei ganz gleichen, unter stumpfem Winkel aneinandergrenzenden Spiegeln reflektiert werden, so daß die beiden Teile nach der Reflexion einander durchdringen und also Interferenzen bilden können. Der Versuch gelang vollkommen in der erwarteten Weise. Man sah Interferenzstreifen im ganzen Durchdringungsraum. Dieser Spiegelversuch wirkte allenthalben überzeugend für die Wellennatur des Lichtes. Durch ihn war auch die von Thomas Young gegebene Erklärung von Newton's Ringen als der Wirklichkeit entsprechend gekennzeichnet. Überhaupt war es von da an das Gegebene, einen Lichtstrahl als eine mit Lichtgeschwindigkeit — nach Römer's Messung — laufende Welle anzusehen, und zwar in dem von Huygens schon Äther genannten, nicht aus Materie, d. h. — wie man nun seit Dalton und Berzelius denken konnte — nicht aus den Atomsorten der Chemie bestehenden Medium. Dies Ergebnis hat sich seither auch nur ausnahmslos bewährt, wenn auch der Äther an sich noch voll Fragen ist. Auch die Längen der Wellen konnten in der einfachsten, überzeugendsten Weise durch Fresnel's Spiegelversuch gemessen werden. Die Genauigkeit war allerdings hier lange nicht so weit zu treiben wie bei Fraunhofer's Gittern, deren verwickelterer und mit Beugung verknüpfter Interferenzvorgang andererseits zu grundlegender Einsichtnahme entsprechend weniger geeignet ist. Diese Wellenlängen sind für die verschiedenen Farben etwas verschieden, durch das ganze sichtbare Spektrum aber sehr klein; sie betragen vom Violett bis Rot nur 4 bis 8 Zehntausendtel Millimeter.

Sehr eingehende und wichtige Untersuchungen hat Fresnel auch dem polarisierten Licht und dessen Entstehung gewidmet. Solches Licht besonderer Art, mit einseitigen Eigenschaften, dem das Auge aber unmittelbar nichts davon anmerkt, war zuerst von Huygens entdeckt worden, als bei der Doppelbrechung entstehend, bei welcher das „natürliche", unpolarisierte Licht in zwei polarisierte Strahlen sich spaltete. Erst mehr als ein Jahrhundert später (1808) fand Malus in Paris, der als Krieger mit Napoleon nach Ägypten gezogen war, nebenher aber gern naturwissenschaftliche Studien trieb, daß solches polarisiertes Licht auch bei der gewöhnlichen Reflexion an einer Glas- oder Wasseroberfläche entstehen kann. Ebenso ist Reflexion auch ein Erkennungsmittel für die Einseitigkeit eines solchen „polarisierten" Lichtstrahles. Läuft beispielsweise ein solcher Strahl in lotrechter Richtung und läßt er sich durch einen geeignet geneigten Spiegel nach vorn oder auch nach hinten werfen, so versagt die Spiegelung nach den andern beiden Seiten, nach rechts und links. Es ist daraus unmittelbar ersicht-

lich, daß ein solcher Strahl nicht ringsum gleich beschaffen ist, sondern daß eine der möglichen, zu ihm senkrechten Richtungen irgendwie bevorzugt ist. Ist man, wie nach Fresnel's Spiegelversuch, der auch mit polarisiertem Licht gelingt, überzeugt, daß ein Lichtstrahl ein laufender Wellenzug ist, so kann doch der polarisierte Strahl keinesfalls ein längsschwingender Wellenzug sein (wie es der Schall ist); denn bei einer längs (d.h. in Richtung des Strahles selbst) hin- und hergehenden Zustandsänderung (irgendwelcher Art) wären alle Seiten des Strahles ringsum gleich beschaffen. Es muß also der polarisierte Strahl jedenfalls querschwingend sein, und zwar, wenn er vollständig polarisiert ist, nur in einer einzigen Richtung quer zum Strahl (wobei es immer noch ganz unbekannt bleibt, was in dieser Querrichtung mit periodischem Wechsel ins Entgegengesetzte vor sich geht und in der anderen, drauf senkrechten Querrichtung nicht vor sich geht). Diese Erkenntnis vom Wesen des polarisierten Lichtes eröffnete sich Fresnel um so mehr, je tiefer er in das Studium von dessen Eigenschaften eindrang. Es ist bemerkenswert, daß kein einziger von den damaligen Hauptvertretern der Pariser Akademie — weder Laplace noch Arago — ihm dabei zu folgen vermochte. Ja auch Fresnel selbst scheint der Gedanke von Querschwingungen im Licht schwer gefallen zu sein; aber er hielt sich unbeirrt an die eigenen Zeichen der Natur, und folgte ihnen, — mit vollem Erfolg, wie die Zukunft lehrte. Die Schwierigkeit lag darin, daß Querwellen nur in festen Körpern vorkommen, nicht im Inneren von Flüssigkeiten oder gar in Gasen. Und im Äther sollten sie möglich sein?! — Diese Schwierigkeit war freilich in Wirklichkeit nur eine eingebildete; sie kam von der unklaren Sucht, dem Äther, obgleich er — bei Huygens schon ausgesprochenermaßen — nicht Materie sein sollte, doch nur Eigenschaften der Materie zuschreiben zu wollen.

Es lag hier und liegt noch bis heute im Grunde grober Materialismus (Stoffwahn) als Hindernis von Naturerkenntnis vor, wenn man meinte und meint, Alles müsse die Eigenschaften haben, die vom allmählich ziemlich weit vorgeschrittenen Studium der Materie her geläufig geworden sind. Soll Naturforschung — gleichzeitig aber auch geistige Entwicklung überhaupt — nicht veröden, so ist es Zeit, daß wieder das Gegenteil selbstverständlich werde: Daß die Gesetze der Materie — der Mechanik — ganz auf diese beschränkt zu bleiben haben, und daß der Äther mit allem was zu ihm gehört einen andersartigen Teil der Welt ausmacht, dessen Eigenheiten Stück für Stück erst ergründet werden müssen, dabei fortlaufend und sicher ohne Ende Überraschungen bietend, soweit die Forschung überhaupt an ihn heranzukommen vermag. Die Sucht, alles in der Welt auf Mechanismen zurückzuführen und die Befriedigung dabei, solang das anscheinend gelang, saß in der Pariser Aka-

demie fest von den Enzyklopädisten her. Sie hatte von Neuem gerade zu Fresnel's Zeit einen hervorragenden Ausdruck in Laplace's „Mécanique céleste“ gefunden. Dieses Werk schien es zu besiegeln, daß man alles auf die schon von Newton festgelegten Bewegungsgesetze der Materie, zusammen mit Newton's Kraftgesetz für Gravitation, den ähnlichen Coulomb'schen Gesetzen und auf die Molekularkräfte (geltend auch für das als bloßen Stoff gedachte Licht und für den „Wärmestoff“) zurückführen könne. In dieses Gedankengebäude hatte sich Fresnel irgendwie zu finden; denn die Pariser Akademie war sein einziger Anhalt. Aber Lehrmeisterin war ihm die Natur in seinen experimentellen Studien am Lichte. Um die Akademie zu beruhigen (vielleicht in gewissem Sinne auch sich selbst?), gab er das Ergebnis von den Querwellen des polarisierten Lichtes nicht ohne eine hypothetische Erklärung kund, wie vielleicht doch auch in gewöhnlichen Flüssigkeiten Querwellen möglich wären. Diese mechanische Erklärung der Ätherquerwellen ist später belanglos geworden; es ist nach den Ergebnissen von Faraday, Maxwell und Hertz endlich auch im einzelnen klar geworden, daß der Äther nicht nur im Punkt der Nicht-Greifbarkeit (der Nicht-Einsperrbarkeit in Gefäße) etwas Eigenes ist.

Es ist nicht überflüssig, auf diese eigentümlichen Schwierigkeiten von Fresnel's Zeit besonders hingewiesen zu haben. Es war das wohl die Zeit weitestgehender Abweichung der Naturanschauung (ja wohl des Weltbildes der Menschen überhaupt) von der Wirklichkeit durch völlige Hingabe an die Materie. So wie Kepler war auch Newton noch frei von dieser Abweichung. Huygens wohl nicht; denn er sagt an einer Stelle[1]), von der „wahren Philosophie“, daß man in ihr „die Ursache aller natürlichen Wirkungen auf mechanische Gründe zurückführt“. Vielleicht war es dadurch auch bedingt, daß er die Gravitation nicht erkannte, obgleich Niemand schon so nahe daran war wie er. Newton verkündete ruhig sein Gravitationsgesetz, obgleich er keine mechanische Erklärung dazu geben konnte. Newton sagt auch über das polarisierte Licht, schon lange vor Malus, allein nur aus Studien am Kalkspat, ähnlich denen von Huygens, ganz ruhig: „Hat nicht der Strahl verschiedene Seiten mit verschiedenen Eigenschaften?“[2]), und er bemerkt, daß dies bei einer Längswelle (Druckwelle) nicht möglich wäre. Auf die Querwellen zu schließen war die Zeit gekommen, als Fresnel das Vorhandensein von Wellen im Strahl überhaupt sichergestellt hatte.

Fresnel forschte dann auch nach der Wellenart des gewöhnlichen, unpolarisierten Lichtes. Nach dem völligen Fehlen von Einseitigkeit

[1]) Am Anfange seiner „Abhandlung über das Licht“, 1690.

[2]) Newton, „Opticks“ 1717, Third Book, Query 26.

könnte es längsschwingend sein; nach den Entstehungsweisen des polarisierten Lichtes aus dem gewöhnlichen war aber eine andere Annahme nahegelegt: daß das gewöhnliche, von der Sonne und den künstlichen Lichtquellen kommende Licht ebenfalls quer schwinge, jedoch mit äußerst schnellem Wechsel aller möglichen Schwingungsrichtungen quer zum Strahl, während beim polarisierten Licht nur eine einzige solche Schwingungsrichtung vorhanden ist. Diese Annahme hat sich fortdauernd bewährt. Sie hat Fresnel auch erlaubt, die höchst verwickelten Erscheinungen der Kristalloptik, die Arago schon zum Teil beobachtet hatte, vollkommen befriedigend verständlich zu machen.

Auch gelang es Fresnel, die Fragen nach den Intensitäten des reflektierten und des durchgelassenen Lichtanteiles bei der gewöhnlichen Brechung, sowie die damit zusammenhängenden Fragen der Polarisation bei Reflexion und Brechung ganz umfassend in einfachen, noch heute zu bewundernden Formeln zur Beantwortung zu bringen. Endlich sei auch seine höchst bemerkenswerte Berechnung der „optischen Mitführung" erwähnt, d.i. einer zu erwartenden Beeinflussung der Lichtgeschwindigkeit durch Bewegung des materiellen Mediums (z.B. Wasser oder Glas), in welchem das Licht läuft. Auch diese Berechnung hat sich bewährt, als zuerst 1853 von Fizeau (in Paris) und später noch viel feinere Messungen hierüber zur Ausführung kamen. Man kann erstaunt darüber sein, daß Berechnungen, wie die der Intensitätsformeln und der Mitführungsgleichung das Richtige treffen konnten; denn sie behandeln den Äther einigermaßen wie einen elastischen materiellen Körper, der er nicht ist, mit dem er aber eine gewisse, entfernte Ähnlichkeit hat. Es kommt jedoch nur darauf an, ob die Annahmen der Rechnung nicht über die tatsächlich bestehende Ähnlichkeit hinausgingen, und der Erfolg zeigte, daß es Fresnel — ohne Zweifel dank der reichen Anschauung, die er von den Erscheinungen des Lichtes besaß — gelungen war, auch hierin das Richtige zu treffen.

Fresnel hat die Wellenoptik — die „Wellentheorie des Lichtes" — vollständig begründet und schon reich bearbeitet. Was nach ihm noch hinzukam ist einerseits Bearbeitung weiterer Einzelfälle, z.B. von Beugungserscheinungen — worin besonders F. M. Schwerd (Gymnasiallehrer und Astronom in Speyer, lebte 1792—1871) Vortreffliches geleistet hat —, die noch weitere Beweisstücke für das Zutreffen der Theorie brachten, andererseits aber — im Gefolge von Oersted's und Faraday's Entdeckungen — wieder ganz neue Einsicht, die besondere Beschaffenheit der Ätherwellen betreffend: daß sie elektro-magnetischer Natur sind.

Hans Christian Oersted

(1777—1851).

Er ist der Entdecker der magnetischen Wirkungen elektrischer Ströme und damit überhaupt des Zusammenhangs zwischen Elektrizität und Magnetismus.

Schon weit über ein Jahrtausend lang waren diese beiden Naturdinge als vorhanden und einander ähnlich wirkend, aber doch deutlich voneinander verschieden und ohne jede Beziehung zueinander bestehend, bekannt. Gray hatte die gegenseitige Nicht-Störung gleichzeitig an denselben Körpern wirkender elektrischer und magnetischer Kräfte erkannt, und der Schluß auf vollkommene Zusammenhanglosigkeit der beiden Kraftarten blieb auch nach verfeinerten Beobachtungen bestehen. Dennoch war später, als man Magnetisierungen durch elektrische Funken und durch Blitz beobachtet hatte und als Coulomb die Gesetze für die beiden Kraftarten festgestellt und vollkommen gleich gefunden hatte, immer wieder von neuem die Vermutung eines noch verborgenen Zusammenhanges aufgetaucht und mit Eifer danach gesucht worden, doch vergebens. Als dann Volta's Säule als neue Elektrizitätsquelle bekannt wurde, versuchte man es mit dieser. Es sind mehrere Versuche veröffentlicht worden, an der Säule, an Elementen in Becherform oder auch an Aneinanderfügungen zweier verschiedener Metalle magnetische Kräfte nachzuweisen. Sie waren teilweise offensichtlich durch Täuschungen wertlos; ein ernst zu nehmender Versuch war beispielsweise der, eine Volta'sche Säule an Seidenfäden beweglich horizontal aufzuhängen, um zu sehen, ob sie etwa wie eine Magnetnadel in den Meridian sich stellen würde, — was aber nicht erfolgte. Derartige Bemühungen zeigten, daß man nicht so sehr die neue Möglichkeit, mittels Volta's Säule ergiebiges Fließen von Elektrizität zu erhalten, ins Auge faßte, sondern mehr oder weniger dunkel nur an die neue Entstehungsart von (ruhender) Elektrisierung Hoffnungen knüpfte. Oersted war offenbar der erste, der bei geschlossenem Strom der Säule ernstlich suchte. Der Fund war dann leicht gemacht; er sah die Magnetnadel bei geeigneter Annäherung des Stromleiters in Bewegung geraten.

Dies als eine „Zufallsentdeckung" bezeichnen zu wollen, ist ganz unzutreffend. Denn das Suchen nach einem Zusammenhang war da — sogar nicht nur bei Oersted allein —; es war also die gleichzeitige Anwesenheit von Säule und Magnetnadel auf Oersted's Experimentiertische und das Zusehen, ob sie aufeinander einwirken, nichts weniger als Zufall. Daß die Entdeckung bei einer Vorlesung stattgefunden habe, ist — wenn es zutrifft[1]) — nicht verwunderlich, wenn man weiß, daß Oer-

[1]) Es ist aus Oersted's kurzer lateinischer Veröffentlichung wohl schwerlich

sted mit Vorliebe sehr viele Vorlesungen hielt, — bis zu vier Stunden an einem Tag. Es kann hier auch ganz allgemein bemerkt werden, daß es Zeichen sehr verbreiteter Unkundigkeit ist, wenn man das Verdienst eines Entdeckers dadurch gemindert sehen will, daß er nicht ordentlich vorher gewußt habe, was zu finden sei. Umgekehrt ist es: eine Entdekkung ist stets um so bedeutungsvoller, je weiter hinaus sie ins völlig Unbekannte geht, je weniger es also überhaupt möglich war, mehr vorauszusehen, als daß in einer gewissen Richtung etwas zu suchen sei. Wer Entdeckungen nicht in diesem Lichte zu beurteilen weiß, der hält Mutter Natur für so armselig, wie wir Menschengeister es alle eben doch sind. Jedem großen Entdecker hat noch seine Entdeckung eine Überraschung gebracht[1]). Was das Verdienst an einer Entdeckung etwa mindern kann, ist — außer Verständnislosigkeit für deren Bedeutung, was bei Oersted durchaus nicht der Fall war — zumeist der Umstand, daß sie mit zuvor von Anderen neugeschaffenen Hilfsmitteln erfolgte, die die Entdeckung gewissermaßen schon in sich bargen und nur in genügend veränderter Weise benutzt zu werden brauchten, um sie herauszuholen. Aus diesem Grunde wird man allerdings neben Oersted stets Galvani und Volta gestellt sehen dürfen. Immerhin aber hatte es nichtweniger als 20 Jahre gedauert, bis Volta's Batterie vor verstehenden Augen eine Magnetnadel in Bewegung setzte.

Sogleich nach der ersten Beobachtung verschaffte sich Oersted mit Hilfe einiger gelehrter Freunde einen größeren „Galvanischen Apparat", bestehend aus 20 Volta'schen Elementen, jedes ein großer Kupfertrog mit verdünnter Säurefüllung und einer Zinkplatte darin, um die Wirkung unter möglichst günstigen Umständen weiter zu studieren[2]). Er stellt eingehend die Richtungsänderungen der Magnetnadel bei verschiedenen Lagen und Richtungen des Stromleiters, über, unter ihr, seitlich und in verschiedenen Abständen fest, woraus alles hervorgeht, was man auch heute darüber sagen könnte ohne auf Quantitatives einzugehen. Es

---

klar zu machen (denn weder Oersted noch wir sind geborene Lateiner), ob er betonen wollte, die Entdeckung habe während einer Vorlesung im Winter 1819/20 stattgefunden, oder vielmehr: daß schon zu dieser Zeit die ersten Versuche in einer Vorlesung, also vor größerem Kreise, bei ihm zu sehen gewesen seien. Das letztere ist wahrscheinlicher, wenn man die ungeheuerliche Neuheit des positiven Ergebnisses und die Leichtigkeit es zu erhalten, sobald man einmal weiß wie, zusammen mit dem damals so verbreiteten Suchen und der Verzögerung bedenkt, die bis zur gedruckten Veröffentlichung der nachfolgenden eingehenderen Untersuchung unvermeidlich war.

[1]) Beispielsweise wußte Davy zwar sehr wohl, daß er Metalle in den ätzenden Alkalien suche; aber die besonderen Eigenschaften des gefundenen Kaliums und Natriums waren ihm nicht weniger neu und überraschend, als jedem Unbeteiligten.

[2]) Er gibt später kund, daß so viele Elemente nicht nötig seien, was heute nach Ohm's Gesetz unmittelbar klar ist.

wird ihm auch klar, daß die neuentdeckte, vom Stromleiter ausgehende Kraft keine Anziehung oder Abstoßung der Magnetpole ist, sondern daß sie im Kreise um den Leiter herum gerichtet ist. Leiter aus 8 verschiedenen Metallen werden versucht und nahe gleichgut wirkend gefunden; unterbrochen, etwa durch eine zu lange Wasserschicht, darf aber der Stromweg nicht sein. Die Wirkung geht durch Glas, Metall, Holz,

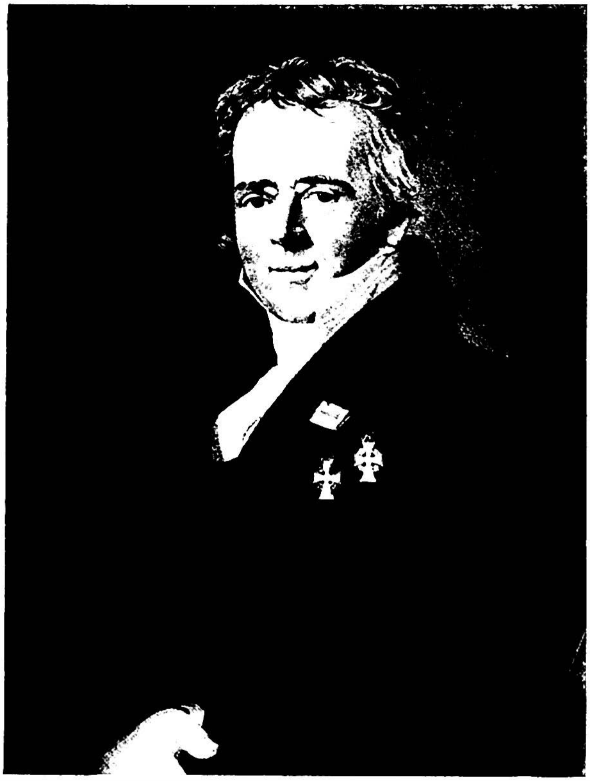


Bild 42. Hans Christian Oersted.

Wasser, Harz, Ton, Steine hindurch, wenn diese zwischen Leiter und Magnetnadel gebracht werden. Die Magnetnadel konnte ohne Änderung des Erfolges auch in einer Messinghülse sich befinden und diese auch mit Wasser gefüllt sein. Nadeln aus Messing, Glas, Harz und anderen Stoffen, beweglich gemacht wie eine Magnetnadel, blieben unbeeinflußt.

Eine kurze, lateinisch abgefaßte Beschreibung aller dieser und noch mehrerer Versuche versandte Oersted Ende Juli 1820 an viele gelehrte

Gesellschaften, Einzelpersonen und Zeitschriften. So wurde die Entdeckung sehr schnell allgemein bekannt. Sie erregte ebenso allgemeines Staunen wie 20 Jahre vorher Volta's Säule, und war das Staunen zunächst auch mehr oberflächlicher Art, so hat doch die Folgezeit bis heute gezeigt, daß fast Alles, was von da ab Naturforschung und nach ihr die Technik noch weiter ergründet und geleistet haben, auf dem Wege über Oersted's Entdeckung aus Volta's Säule gekommen ist, mit Ausnahme nur von Rumford's, Carnot's und Robert Mayer's Gedankenreihen, die an einer anderen Stelle und noch weiter in die Tiefe gehend angriffen.

Oersted war auf der Insel Langeland geboren, wo sein Vater Apotheker war[1]). Die Umstände in der Familie waren dürftig, weshalb nicht viel auf Schulbesuch gegeben werden konnte. Jedoch Hans Christian lehrte sich aus einem alten Schulbuch selbst das Rechnen und noch manches andere in Gedankenaustausch mit seinem wenig jüngeren Bruder und mittels gelegentlicher Nachhilfe von Privatlehrern. Mit 12 Jahren nahm ihn sein Vater zur Hilfe in die Apotheke, wo er bald an den chemischen Arbeiten große Freude fand. Da ihn danach sehr nach der Universität gelüstete, versuchte er durch ein Examen sich das Reifezeugnis zu verschaffen, was ihm, sowie auch seinem Bruder gelang. Nun zog er mit 17 Jahren nach Kopenhagen, wo seine Studien — bei äußerst bescheidenem Leben — höchst umfassend waren, vorwiegend aber Naturwissenschaft, Philosophie und Medizin betrafen. Mit 22 Jahren erwarb er den medizinischen Doktorgrad. Gleichzeitig durfte er Vorlesungen über Chemie und Metaphysik halten und übernahm er die Verwaltung einer Apotheke. Zu dieser Zeit wurde Volta's Entdeckung bekannt, und sie begann auch sogleich Oersted zu beschäftigen. Später machte er eine ausgedehnte Reise durch viele Universitätsstädte Deutschlands, wo er viele hervorragende Zeitgenossen kennen lernte, die durch seinen regen Geist, seine jugendliche Frische und sein fast kindliches Äußere und Benehmen schnell gewonnen waren. Im Jahre 1806 erhielt er die Professur der Physik an der Universität Kopenhagen, wo er mit wenig Unterbrechungen fortlaufend eine große Zahl auch öffentlicher Vorlesungen hielt. Vor seine Entdeckung fällt dann noch eine zweite große Reise durch Deutschland und nach Paris, sowie seine Verheiratung. Die Entdeckung hat ihm große Ehren und auch reichliche Zuwendungen und Preise gebracht, und er war von da ab eine der angesehensten und auch einflußreichsten Persönlichkeiten seines Landes. In seiner zuletzt noch zunehmenden öffentlichen Wirksamkeit schloß er sich der sogenannten

[1]) Oersted's Leben ist beschrieben in der Einleitung zu einem seiner allgemein verständlichen Werke: „Der Geist in der Natur", deutsche Übersetzung Leipzig 1850.

„liberalen" oder „freisinnigen" Richtung an, die damals aufkam. Er unternahm dann noch eine dritte große Reise nach Frankreich, England, Norwegen und wieder Deutschland, wobei er mit Gauß zusammentraf. Auch sind aus seinen späteren Jahren Messungen über die Kompressibilität des Wassers zu erwähnen. Es war ihm als Ruhesitz ein Landhaus, mit Park umgeben, nach seinem Wunsche geschenkt worden, jedoch bevor er es beziehen konnte, starb er im Alter von 74 Jahren.

Oersted's Entdeckung war sogleich von Vielen aufgegriffen worden. Vor Allem lieferte sie unmittelbar eine gute Meßweise für die elektrischen Ströme; es bedurfte bloß eines Stückes Draht in fester Aufstellung unter einer im Meridian befindlichen Magnetnadel, um stärkere Ströme nach der Größe der Ablenkung der Nadel ohne Weiteres quantitativ beurteilen zu können. Für schwache Ströme lag unmittelbar in Oersted's Veröffentlichung schon der Weg vorgezeichnet, den Leiter in geeigneter Weise mehrmals an der Nadel vorbei zu biegen, was schon im Entdeckungsjahre 1820 zum „Multiplikator" mit vielen um die Nadel gehenden Drahtwindungen führte (Schweigger in Halle und Poggendorff in Berlin). Man isolierte dabei die einzelnen Drahtwindungen zuerst mit Harz oder Siegellack; bald aber kamen seideumsponnene Drähte auf. Unter allen, die sofort mit dem neuen Gegenstand sich beschäftigten, ragt aber weit Ampère hervor durch die Tiefe der Gedanken und die Wichtigkeit weiterer Entdeckungen, welche er daran knüpfte.

Pierre Simon Laplace (1749—1827); André Marie Ampère (1775—1836).

Die französische Akademie, die schon durch Fresnel mit der Erforschung des Lichtes so Hervorragendes bieten konnte, zeigte sich, dank Ampère, auch in dem durch Oersted's Entdeckung eröffneten Forschungsgebiete zunächst obenan. Die allgemeine Geltung dieser Akademie war dem Wirken Fresnel's wie Ampère's sicherlich günstig gewesen, und diese Geltung war einer Anzahl von klugen Köpfen unter den Mitgliedern zu danken, über denen allen das ungeheure Ansehen des zu dieser Zeit schon 70 Jahre alten Laplace thronte.

Laplace stammte aus der Normandie von armen Eltern. Er besuchte eine Militärschule, empfahl sich aber schon sehr früh durch seine hervorragende mathematische Begabung in den Kreisen der Pariser Akademie, wodurch er zu allmählich aufsteigenden Ämtern mit Einfluß im Unterrichtswesen sowie schon in jungen Jahren zur Mitglied-

schaft der Akademie gelangte. In den für Frankreich so wechselvollen, schicksalsreichen Jahren seines Lebens hat Laplace, mit Ehrgeiz auch für leitende Tätigkeit im Staatswesen, jedesmal dem aussichtsreichen Machthaber sich zuzuwenden gewußt. So stieg sein Einfluß unabhängig von den Schicksalen seines Volkes bis in sein hohes Alter.

Laplace's Leistung als Naturforscher liegt vor allem in der ersten Anbahnung vollen Verständnisses für die Molekularkräfte bei den Flüssigkeiten. Er ist der Begründer der „Kapillaritäts-Theorie" („Haarröhrchen"-Theorie), mit welchem Namen man weit mehr zusammenfaßt, als nur das Verständnis und die quantitative Beherrschung der schon von Leonardo als etwas Besonderes erkannten Erscheinungen des Hochsteigens von Flüssigkeiten in engen Röhren. Es gehört hierher beispielsweise auch die Tropfenbildung, ja alles, was die selbsttätige Formbildung anlangt, die der Flüssigkeit innewohnt und die am auffallendsten bei kleinen Flüssigkeitsmengen sich zeigt, wo die Kräfte der Schwere mehr zurücktreten, welches letztere schon Galilei vollkommen erkannt hatte. Für alle diese Erscheinungen eröffnete Laplace den Weg zu maßmäßiger Erfassung, indem er sie auf die schon von Newton als von der Gravitation verschieden erkannten, nur in sehr kleinen Abständen wirksamen anziehenden Kräfte der Teile (Moleküle) aller Körper zurückführt[1]). So kommt er zum ersten Mal auch dazu, die schon aus Beobachtungen am Aufsteigen von Wasser bekannt gewesene verkehrte Proportionalität von kapillarer Steighöhe und Röhrendurchmesser aus dem Wirken solcher Molekularkräfte vollkommen verständlich zu machen. Man war bis dahin von Newton's Gedanken des sehr kleinen Wirkungsbereiches dieser Kräfte abgeschweift gewesen; das Zurückgreifen auf diesen Gedanken erfolgte bei Laplace unter Aufwendung der großen mathematischen Kunst, die er besaß und die der von Newton und Leibniz gegebenen, seither schon weitgehend verfeinerten Hilfsmittel der Infinitesimal-Rechnung sich bediente.

Diese Hilfsmittel waren auch sonst vorher schon ausgiebig in den Dienst der Naturforschung getreten. Schon vor Scheele's und Watt's Zeiten (von 1755 an) begann beispielsweise die Entwicklung von „Differential-Gleichungen der Hydrodynamik". Es wird dabei die Beantwortung aller beliebigen, auf Flüssigkeitsbewegungen sich beziehenden Fragen zurückgeführt auf die mathematische Behandlung eben dieser Gleichungen, welche aber selber nichts weiter enthalten als Galilei's und Newton's Grundgesetze aller Bewegung, angewandt auf die einzelnen Raumelemente der Flüssigkeit; wozu dann nur noch Gleichungen kommen, die besondere, einfache Erfahrungstatsachen, wie die der geringen Zusammendrückbarkeit („Inkompressibilität") der Flüssigkeiten und

[1]) Es geschieht dies im 4. Band seiner „Mécanique Céleste".

Derlei, sowie Sonderangaben für den zu behandelnden Fall enthalten. Geben auch diese Gleichungen bei geschickter mathematischer Behandlung Antwort auf Fragen, die sonst unlösbar scheinen könnten, z. B. die Fragen nach allen Einzelheiten der Wellenerscheinungen auf Flüssigkeiten, und gehen sie in dieser ihrer Allgemeingültigkeit weit hinaus über



Bild 43. Pierre Simon Laplace.

die von Newton schon durchgeführten Einzelbetrachtungen der charakteristischsten und daher allerdings auch wesentlichsten Fälle, so enthalten sie doch nur alte Erkenntnisse; nichts grundlegend Neues kommt bei ihrer Behandlung weder hinzu noch zum Vorschein. Es kann das auch gar nicht anders sein; denn die Mathematik ist in der Naturforschung durchweg nur das Hilfsmittel, Erkenntnisse, die an gut der Beobachtung zugänglichen, meist einfachen Fällen gewonnen sind, voll-

ständig folgerichtig und ohne Gefahr des Irregehens im Denken auf beliebige andere Fälle, auch verwickeltster Art, anwenden zu können; geschöpft jedoch kann die Erkenntnis der Natur nur aus der Beobachtung werden.

Es ist hierbei gerade das besondere Verdienst der mathematischen Kunst, daß sie — in richtiger Weise, ohne Willkürlichkeit angewandt — alles Fremde fernhält und mit Treue nur das zur Geltung kommen läßt, was in die Gleichungen ursprünglich aus der Beobachtung hineingelegt worden ist. Kommen dann in den Endergebnissen Dinge zum Vorschein, die Staunen erregen können, wie z.B. wenn Laplace schließt, daß das Sonnensystem trotz aller „Störungen" durch die gegenseitigen Gravitationen der einzelnen Planeten und Monde zu keiner zukünftigen Zeit in Unordnung geraten wird, so sind das doch niemals neue Grunderkenntnisse. Denn sie sind nur genau ebenso richtig und wahr, d.i. mit der Wirklichkeit übereinstimmend, wie das, was in die Gleichungen gelegt war, z.B. im gedachten Falle Newton's Gravitationsgesetz und die von Galilei, Huygens und Newton schon klargestellten Bewegungsgesetze der Materie, und als nicht etwa noch Unbekanntes, in den Ausgangsgleichungen nicht Berücksichtigtes mitwirkt[1]). Man kann in solchen Fällen sagen, daß die Mathematik imstande ist, Ergebnisse zu liefern, von denen man noch gar nicht wußte, daß man sie schon wußte, d.h. daß man die zu ihrer Feststellung erforderlichen Naturerkenntnisse schon besaß.

Diese Beschaffenheit mathematischer Leistung in Fragen der Naturwissenschaft ist der allgemeinen Einsicht wenig zugänglich; es wird dadurch nicht selten der Mathematiker mit dem Naturforscher verwechselt. Wohl kann mathematische Kunst Naturforscher-Leistung bringen; doch tritt dies nur dann ein, wenn die Entdeckung und Beobachtung neuartiger oder noch unverstanden gebliebener Naturvorgänge — eine Haupt-Naturforscherleistung — mittels einfacher Überlegungen nicht zum vollen Verständnis der Vorgänge führen kann, weil diese zu verwickelt sind. So wurde Newton mittels mathematischer Kunst der Entdecker und vollgenügende Sicherer der Gravi-

[1]) So würde Laplace's so viel bewundertes Ergebnis der ohne weiteres gesicherten Beständigkeit des Sonnensystems (die Newton noch als ganz fraglich, ja unwahrscheinlich ansah) aufs vollständigste zuschanden kommen, sobald irgendein genügend großer fremder Himmelskörper dem System zu nahe käme, — und es gibt weit mehr dunkle Massen von unbekannter Bewegung im Himmelsraum, als die frühere Astronomie annahm. Wäre aber jenes Ergebnis von der Beständigkeit des Sonnensystems dann auch umgeworfen, so hätte dies noch immer keine Ungültigkeit von Newton's Gravitationsgesetz und von Galilei's Bewegungsgesetzen zu bedeuten, die Laplace's Rechnungen zugrunde liegen; die Rechnungen wären unanwendbar geworden, die Grundlagen nicht.

tationskraft und ihres Gesetzes aus den verwickelten Bewegungen der Gestirne, indem er dieselben bis in Einzelheiten hinein berechnete. Unsere durchweg nur auf das Wesentliche gehende Darstellung dürfte aber auch in diesem Falle gezeigt haben, daß die Entdeckung selbst — nicht die allseitige Sicherung — doch nur aus verhältnismäßig einfachen Gedankengängen erfolgte, die auch nur grundlegend einfacher mathematischer Mittel zu ihrer Unterstützung bedurften. Dasselbe wird man bei all den Enthüllungen neuer, ungeahnter Naturgeheimnisse bemerkt haben, welche durch die ganze Reihe der bisher von uns betrachteten großen Naturforscher gekennzeichnet sind. Ja die, alle vorher dagewesenen Möglichkeiten am meisten übertreffenden, vorhandene Kenntnisschranken am auffallendsten umstürzenden Entdeckungen, wie die Volta's, Davy's und Oersted's haben der mathematischen Hilfe überhaupt nicht bedurft, und so ist es auch bis heute geblieben. Man überschätzt ganz allgemein die Wichtigkeit und Wirksamkeit der Mathematik bei der Naturforschung. Wohl muß die Forschung stets auf das Maßmäßige (Quantitative) ausgehen; aber die grundlegenden, in der Natur geltenden maßmäßigen Beziehungen, auf deren Auffinden es allein ankommt, haben sich stets als von nur höchst einfacher Art gezeigt.

Laplace's großes Werk, die „Mécanique Céleste" („Himmelsmechanik"), ist in der Hauptsache eine rein mathematische Leistung. Das Werk geht von den schon genannten Naturerkenntnissen Galilei's, Huygens' und Newton's aus und entwickelt höchst wertvolle mathematische Methoden zu deren — in Vergleich zu Newton — weit mehr ins Einzelne und bis zu äußerster Genauigkeit gehender Anwendung auf die Bewegungen der Planeten, der Monde, und des Wassers der Erdmeere. Dabei werden wertvolle mathematische Hilfsmittel zur Berechnung der „Störungen" der Planeten und Monde durch die Gravitationskräfte, welche sie untereinander ausüben, entwickelt, so wie überhaupt die Rechenmethoden für Kräfte, die dem verkehrten Entfernungsquadrat-Gesetz gehorchen hier weitgehend begründet sich finden („Potential-Theorie").

Als eine zweite Naturforscher-Leistung von Laplace ist noch seine Erkenntnis zu erwähnen, daß und in welchem Maße die Schallgeschwindigkeit durch die Wärmeerscheinungen beeinflußt wird, die mit den Schallwellen notwendigerweise stets verknüpft sind. Schon Dalton hatte festgestellt, daß die Luft bei Drucksteigerung heiß, bei Druckverminderung kalt wird, und Gay-Lussac hatte darüber erste Messungen angestellt. Solche Druckänderungen kommen aber in jeder Schallwelle stets vor, und die mit ihnen verknüpften Temperaturänderungen können nicht ohne Einfluß auf die Schallgeschwindigkeit sein; denn sie beein-

flussen die elastische Kraft der Luft. Laplace berechnete den Einfluß, übrigens ganz auf der Grundlage von Newton's erster Berechnung der Schallgeschwindigkeit, und findet, daß in Newton's Formel noch das Verhältnis der „beiden spezifischen Wärmen der Luft" (bei konstantem Druck und bei konstantem Volum) unter der Quadratwurzel hinzukomme. Die bereits vorliegenden verfeinerten Schallgeschwindigkeitsmessungen hatten eine solche Vergrößerung gegenüber Newton's Formel auch schon gefordert, und die dann einsetzenden verfeinerten Messungen des Verhältnisses der beiden spezifischen Wärmen — auf Grund von deren durch Laplace bei dieser Gelegenheit überhaupt zum ersten Mal scharf gegebenen Definitionen — zeigte vollkommene Übereinstimmung von Laplace's Rechnung, d.h. von deren Grundgedanken, mit der Wirklichkeit.

Ampère war in Lyon geboren, wo sein Vater ein wohlhabender Kaufmann war. Er zeigte früh außerordentliche mathematische Begabung, aber auch sonst sehr umfassende geistige Regsamkeit. Er wurde in Einsamkeit auf dem Lande erzogen, wohin sein Vater sich zurückgezogen hatte, und seine Studien erfolgten mit geringer Nachhilfe, um die sein Vater besorgt war, aus Büchern. In dieser Zeit vielseitiger Ausbildung und heranwachsender Eigenart, im Alter von 18 Jahren, überfiel ihn das Unglück, in roher Weise seines Vaters beraubt zu werden, der, für einen „Aristokraten" erklärt, ein Opfer der Massenmorde der „Revolution" wurde. Über ein Jahr lang irrte er nun verstört und planlos umher, bis ihn zunächst, unter den vielen Studien, die er getrieben, die Botanik besonders erfaßte. Auch mit poetischen Werken versuchte er sich damals. Mit 24 Jahren gab dann seine Verheiratung seinem Leben wieder eine feste Richtung; er ließ sich in Lyon nieder, wo er mathematischen Unterricht gab. Später wurde er Professor der Physik und Chemie an einer Schule zu Bourg (nördlich von Lyon gelegen), wohin ihm aber seine Familie wegen schwerer Erkrankung seiner Frau nicht folgen konnte; er verlor sie bald, nach nur 4jähriger Ehe. Ein mathematisches Werk verschaffte ihm dann eine Berufung nach Paris, wo er allmählich in höchste wissenschaftliche Ämter aufrückte. Oersted's Entdeckung gab danach seinem Leben die Richtung zur Entfaltung seiner Naturforscher-Begabung. In kürzester Zeit entwickelte er die erstaunlich reiche Tätigkeit, welche einen Hauptteil der gesamten Elektrodynamik (Kenntnis von der bewegten Elektrizität) entstehen ließ. So wie Galvani und Volta das Mittel zu dieser Entwickelung lieferten, Oersted einen Haupteingang zu dessen Anwendung zeigte, so hat Ampère dieser Anwendung — die zum „Elektromagnetismus" führte — eine bis heute dienliche feste Form und die wesentlichsten Teile des In-

halts gegeben, wozu in der Tat später nur mehr Faraday wieder ganz erheblich Neues — nach Form und Inhalt — hinzuzufügen wußte.

Sechzehn Jahre nach Oersted's Entdeckung verstarb Ampère im Alter von 61 Jahren. Er war offenbar — wie auch Fresnel — von anderer Art gewesen als die Mehrzahl seiner Akademiker-Kollegen; es zeigt sich dies außer an verschiedenen Charakterzügen, die sein zeitge-



Bild 44. André Marie Ampère.

nössischer Lebensschilderer[1]) absonderlich findet, auch daran, daß er, wohl als Einziger in der Akademie, dem „Wärmestoff" gar nicht traute, sowie an seiner umfassenden Teilnahme an allen Grundfragen der Naturforschung, auch wenn sie damals fernliegende Gedanken über die Entwicklungsgeschichte der Lebewesen betraf. Er war bis ins Alter von

[1]) Arago, Oeuvres, Tome II, Notices biographiques, 1854. Eine etwas früher erschienene gute Lebensbeschreibung findet sich in der „Revue des deux mondes" Bd. 9, S. 389, 1837.

kindlichem Gemüt, doch anscheinend nicht ohne viel Eigensinn. Dabei oft von Zweifeln über Kleines und Größtes bewegt — zu Zeiten, nach dem Tode seiner ersten Frau, auch von häuslichem Mißgeschick gequält[1] —, war ihm das Leben bei aller Anerkennung, die er fand, keineswegs immer befriedigend, was in seinem Wunsch nach der Grabinschrift „Tandem felix“ („Endlich glücklich“) zum Ausdruck kam.

Ampère's Erfolge in der Elektrodynamik beruhen vor allem auf klarer Erfassung der wesentlichen Züge des anfangs höchst verwickelt und unübersichtlich sich darbietenden, von Oersted eröffneten Erscheinungsgebietes, nach eigener Beobachtung. Das Weitere ergab sich durch geschicktes Experimentieren auf Grund einsichtig gestellter Fragen[2].

Schon die Auffassung dessen, was im Schließungsdraht der Volta'schen Säule vor sich geht, bot Schwierigkeiten und verlangte passende Festhaltung des zunächst erkennbaren Wesentlichen. Dies gelang Ampère vortrefflich, womit er die bis heute noch geltende, in aller Zwischenzeit höchst förderlich gewesene Vorstellung vom „elektrischen Strom“ — die bisher unbestimmt war — festlegte. Zwar hatte schon Volta den Namen „elektrischer Strom“ gebraucht[3], wie man auch seit Gray schon gewohnt war von Fortleitung und vom Fließen der Elektrizität zu reden; jedoch, wenn man bedachte, daß bei der Entladung der Säule, sowie auch einer Leydener Flasche, beide Elektrizitäten infolge ihrer Anziehung gegeneinander strömen sollten, wobei durch ihre Vereinigung ihre bekanntermaßen entgegengesetzten Wirkungen zum Verschwinden kämen („neutralisiert“ werden), erschien der „elektrische Strom“ doch als etwas ziemlich Verwickeltes, Unbestimmtes. Verschwommen wurde die Vorstellung jedenfalls schon dadurch, daß der gleichzeitige „Strom“ beider Elektrizitäten offenbar gar keine eindeutige Richtung hatte. Dem entsprach es auch, daß Oersted überhaupt nicht von einem „elektrischen Strom“ sprach, sondern den Ausdruck „elektrischer Konflikt“[4])

---

[1]) Vgl. die allerdings nicht allzu aufschlußreiche Sammlung von Briefen und Erinnerungen „André Marie Ampère et J. J. Ampère“ von ungenannter Verfasserin, Paris 1875. Soviel ist jedenfalls ersichtlich, daß Ampère's oft quälende Zweifel zu einem erheblichen Teil auf die Dogmen der katholischen Kirche sich bezogen, deren unbedingter Anhänger er im Verein mit seiner ersten Frau gewesen war.

[2]) Eine gute Zusammenstellung aus Ampère's Veröffentlichungen der ersten Zeit nach Oersted's Entdeckung findet sich in deutscher Übersetzung in Gilbert's Annalen, Bd. 67, S. 113 ff., 1821.

[3]) In der französisch abgefaßten Urschrift von Volta, veröffentlicht in den „Philosophical Transactions“, Vol. 83, 1793, heißt es schon bei der ersten entsprechenden Gelegenheit „courant électrique“ (a. a. O. S. 37).

[4]) Schon der Titel von Oersted's lateinisch abgefaßter Entdeckungs-Schrift vom Jahre 1820 lautete: „Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam“.

Spannung erscheint somit als Ursache, und Strom als Wirkung. Sobald diese Wirkung durch Schließen des Leiterweges eintritt, verschwinden die Spannungserscheinungen „oder werden doch unmerklich". Selbst des „Widerstandes" im Leiterkreis gedenkt Ampère schon als mitbestimmend für die Stromstärke bei gegebener Spannung. Man sieht, es fehlte nicht viel bis zu Ohm's Gesetz — bei Ampère. Wohl aber fehlte offenbar sehr viel bei sämtlichen Zeitgenossen, so sehr sie sich neben Ampère mit Oersted's Entdeckung befaßten; man merkt dies an der Verständnislosigkeit, mit welcher sie dann noch 7 und mehr Jahre später Ohm's Leistung gegenüberstanden.

Ampère's großer Fortschritt, schon allein in der Auffassung, schon im Jahre von Oersted's Veröffentlichung, führte ihn auch gleich zu der noch heute gebräuchlichen „Hand-Regel" für die Angabe, wohin der Nordpol einer Nadel durch einen gegebenen Strom gelenkt werde, als besseren Ersatz für Oersted's übrigens ganz gleichsinnige Angabe. Auch hat Ampère bei dieser Gelegenheit zum ersten Mal die klare Trennung zwischen Elektrostatik (Lehre von der ruhenden Elektrizität) und „Elektrodynamik" (Lehre von der bewegten Elektrizität, d.i. den Stromwirkungen), sowie überhaupt den letzteren Namen eingeführt.

An alles dies knüpfte aber Ampère sofort auch eine ganz neue Entdeckung. Es war bekannt, daß elektrische Ladungen aufeinander Kräfte ausüben, ebenso Magnetpole aufeinander — beide nach Coulomb's Gesetz —, und man wußte nun durch Oersted, daß elektrische Ströme auf Magnetpole wirken, als wären sie selber Magnete. Da war für Ampère sogleich die Frage gegeben, ob nicht auch Ströme und Ströme aufeinander Kraftwirkungen ausüben. Er entschied die Frage noch im Entdeckungsjahr Oersted's, 1820, durch Versuche, und zwar im bejahenden Sinne. Er fand, daß parallel gerichtete Ströme einander anziehen, entgegengesetzt gerichtete einander abstoßen, wobei es gleichgültig war, ob die beiden aufeinander wirkenden Stromteile demselben Stromkreis oder zwei getrennten Stromkreisen angehörten. Damit war wieder eine neue, vorher unbekannte Kraftart entdeckt. Die zugrundeliegenden Versuche waren einfacher Art, wenn auch damals nicht so ganz naheliegend; es kam nur darauf an, Stromleiter leicht beweglich zu machen, was Ampère durch Aufhängen in Quecksilbernäpfchen und dergleichen Vorrichtungen erreichte. Sehr bemerkenswert war hierbei sogleich, daß hier Gleiches sich anzog, Entgegengesetztes sich abstieß, also umgekehrt wie bei den ruhenden Elektrizitäten; hierdurch unterschied sich diese neu entdeckte elektrodynamische Kraft sogleich von den elektrostatischen Kräften, welche die Elektrizitäten in den Drähten ruhend aufeinander ausüben würden. Ampère führte diese Versuche auch

mit kreisförmig gebogenen Drähten und mit Drahtspulen aus vielen kreisförmigen Windungen aus, durch die er Ströme leitete. So kamen Stromspulen (von Ampère Solenoide genannt) in Gebrauch, die übrigens kurz vorher auch schon im Multiplikator aufgetreten waren. Ampère wies auch nach, daß für die neuentdeckten sowie auch für die von Oersted entdeckten Kräfte Newton's Gesetz von der Gegenkraft gilt, so daß sowohl der Stromdraht den Magneten als auch umgekehrt der Magnet den Stromdraht in Bewegung setzen kann.

Die Entdeckung der Kräfte von Strom zu Strom führte Ampère sogleich weiter zu einer besonderen Vorstellung über den Magnetismus. Er sah einen Magnetstab als eine Stromspule an, mit ununterbrochen von selber kreisendem Strom. In der Tat konnte er nachweisen, daß zwei Stromspulen, von denen die eine beweglich war, genau so einander richteten, und mit ihren Enden aufeinander wirkten, wie zwei Magnetstäbe mit ihren Polen. Ja er konnte sogar zeigen, daß ein einziger Kreisstrom, beweglich aufgehängt, infolge des Erdmagnetismus wie eine Magnetnadel sich einstellt. Dadurch waren alle magnetischen Kräfte zurückführbar gemacht auf die Kräfte zwischen Strömen und Strömen; der Magnetismus als etwas Besonderes konnte verschwinden. Dies entsprach aber ganz der Wirklichkeit, insofern schon seit Gilbert's Versuchen mit den zerbrochenen Magneten klar war, daß an Magnetpolen in der Tat gar nichts Besonderes sitze, sondern daß ein überall im Magnetstab gleichmäßig verteilter, gerichteter Zustand vorliege. Nach Ampère's Entdeckung konnte jeder Magnet aus gleichgerichteten, aneinander gereihten Kreisströmen zusammengesetzt vorgestellt und in der Tat auch mit allen seinen Kraftäußerungen durch solche Kreisströme vollkommen ersetzt werden. In letzter Linie brauchte man nur anzunehmen, daß jedes Eisen- oder Stahl-Molekül des Magneten einen kleinen Kreisstrom dauernd in sich berge; das Magnetisieren bestünde dann nur in der Gleichrichtung aller dieser Kreisströme der vielen Moleküle des Eisen- oder Stahlstabes. Dieser Vorstellung stand lange, und in den nächstfolgenden Zeiten sogar in steigendem Maße das Bedenken entgegen, daß die dauernde Unterhaltung solcher Ströme ohne Stromquelle nicht möglich sein dürfte. Dieses Bedenken ist erst in den jüngsten Zeiten weggefallen, als man in ganz anderer Weise, durch besondere Tatsachen (zuerst mittels Hittorf's Kathodenstrahlen) auf dauerndes Kreisen von Elektrizitäten in den Atomen und Molekülen gewiesen wurde. Man kann heute „Ampère's Theorie des Magnetismus" als ergründete Wirklichkeit betrachten, nachdem sie fast hundert Jahre lang Vermutung (Hypothese) gewesen war, wenn auch Einzelheiten noch fraglich sind.

Aber auch ohne diese spätere Sicherung waren Ampère's Gedanken

sogleich fruchtbar. Arago hatte bemerkt, daß der Schließungsdraht von Volta's Säule mit Eisenfeile sich belädt, die vorher ganz unmagnetisch war, nachher aber auch dauernden Magnetismus zeigen konnte. Er zeigte dies Ampère, worauf dieser sogleich sagte, daß eine Stromspule Stahlnadeln in ihrer Achse zu Magneten mit vorher angebbarer Lage des Nord- und Südpoles machen werde, was auch sogleich bestätigt werden konnte. Damit war das Mittel gefunden, viel stärkere Magnete zu machen als es je vorher durch Streichen mit Magnetsteinen möglich war. Außerdem war der Weg zum „Elektromagneten" eröffnet, der mit Stromschließen und Öffnen nach Willkür seine Kräfte erhielt und wieder verlor; es war nur nötig, weiches Eisen statt Stahl in die Stromspule zu tun. Man weiß, welche Fülle von Anwendungen daraus sich entwickelte; der Elektromagnet ist das Hauptstück der ganzen „Schwachstrom- und Starkstrom-Technik", von der Hausklingel bis zur elektrischen Lokomotive.

Sadi Carnot

(1796—1832).

Seit Watt hat dieser Forscher zum erstenmal einen wesentlich neuen Gedanken zur Dampfmaschine beigebracht, eine Erkenntnis, die er aber selbst schon als weit umfassender gültig erweist, nämlich für alle Vorrichtungen die mittels Wärme Arbeit hervorbringen[1]). Seine Erkenntnis hat sich auch weiter und immer noch allgemeiner wichtig gezeigt, bis sie 25 Jahre später durch Clausius zum „Zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie" wurde, der so viele Wärmeerscheinungen in erstaunlicher Weise bis in Einzelheiten zu berechnen erlaubt. Dabei ist Carnot in seiner kurzen Lebenszeit auch dem Wesen der Wärme sehr nahe gerückt, fast schon bis zu Robert Mayer's späteren Erkenntnissen, wie man aus seinem sehr spät erst ans Licht gekommenen Nachlaß jetzt weiß.

Sein Ausgangspunkt war die Frage nach dem größtmöglichen Wirkungsgrad der Feuermaschinen, d. i. nach den Umständen, die es in letzter Linie bestimmen, wieviel Meterkilogramm Arbeit solche Maschinen, im besonderen eine Watt'sche Dampfmaschine, mittels einer gegebenen, in den Kessel gebrachten Wärmemenge bestenfalls leisten können. Er sieht zunächst ein, daß bei allen solchen Vorrichtungen notwendigerweise Wärme von einem heißeren Körper zu einem kälteren übergehen müsse, wie bei der Dampfmaschine vom Kessel zum Kondensator. Nur wo

[1]) „Betrachtungen über die bewegende Kraft des Feuers und die zur Entwickelung dieser Kraft geeigneten Maschinen", Paris 1824. (Deutsche Übersetzung in Ostwald's Klassikern.)

solcher Übergang möglich ist, d. i. wo Temperaturunterschiede vorhanden sind, kann die Arbeitsleistung durch Wärme stattfinden. Soll möglichst viel Arbeit geleistet werden, so dürfen nur Übergänge stattfinden, die mit Volumänderungen verbunden sind; denn eben durch die Volumänderungen wird die Arbeit geleistet, wie bei der Dampfmaschine im Zylinder, wo der Dampf sich dehnt. Jeder Wärmeübergang der ohne Volumänderung stattfände, z. B. durch bloße Wärmeleitung, würde einen Arbeitsverlust bedeuten. Carnot bemerkt dann weiter, daß die mit der Arbeitsleistung verbundenen Volumänderungen umkehrbar sind, wobei er auf die von Dalton und Gay-Lussac schon festgestellten Tatsachen, sowie auf Laplace's mit der Erfahrung stimmende Berechnung der Schallgeschwindigkeit sich stützt. Er sagt: „Wird ein Gas schnell zusammengedrückt, so erhebt sich seine Temperatur; sie fällt umgekehrt, wenn es schnell ausgedehnt wird. Es ist dies eine der besterwiesenen Erfahrungstatsachen; wir nehmen sie zur Grundlage unseres Beweises"[1]). So kommt er dazu, die vollkommene Umkehrbarkeit des benutzten Vorganges als Bedingung für höchstmögliche Arbeitsleistung durch Wärme zu sehen. Der Vorgang in einer Dampfmaschine ist in der Tat umkehrbar. Drehte man das Schwungrad der Maschine zurück, so würde sie als Pumpe wirken, die den Wasserdampf aus dem Kondensator in den Kessel schafft, wobei ersterer gekühlt[2]), letzterer erhitzt würde, so daß mit dem Rad und dem Dampf auch die Wärme in umgekehrter Richtung sich bewegte, vom Kondensator zum Kessel, vom kälteren zum heißeren Körper. Von der Vollkommenheit dieser Umkehrung hängt die Höchstleistung der Maschine ab; alles nicht Umkehrbare, wie Wärmeabgabe durch Leitung, Reibungsvorgänge, aber auch das Überströmen des Dampfes aus dem Zylinder in den Kondensator ehe er — vom Kessel abgeschlossen — durch Dehnung von selbst Kondensator-Temperatur annimmt[3]), alle solche Vorgänge vermindern die Arbeitsleistung der Maschine. Bei einer vollkommen umkehrbar eingerichteten Dampfmaschine könnte die Arbeitsleistung nur mehr durch Vergrößerung der Temperaturstufe zwischen Kessel und Kondensator gesteigert werden.

Es bleibt nur noch die wichtige Frage offen, ob nicht Maschinen, die einen anderen Dampf als Wasserdampf, oder überhaupt einen anderen

[1]) Bei dieser Gelegenheit äußert Carnot auch als Erster vermutungsweise die richtige Erklärung für die Temperaturverteilung in der Erdatmosphäre, indem er anmerkt: „Ist nicht auch der Abkühlung der Luft durch Ausdehnung die Kälte in den oberen Regionen der Atmosphäre zuzuschreiben? Die bisher zur Erklärung dieser Kälte gegebenen Gründe sind völlig unzureichend."

[2]) Die umgekehrt laufende Dampfmaschine ist in der Tat im Prinzip eine Eismaschine.

[3]) Schon Watt hatte es eingeführt, den Dampf im Zylinder lange vor Beendigung des Kolbenhubes vom Kessel abzusperren, um seine Maschinen sparsamer arbeiten zu lassen.

Körper, der durch Dehnung Arbeit leisten kann, wie etwa irgendein Gas an Stelle des Wasserdampfes benutzten, vorteilhafter wären, indem bei gleicher Temperaturstufe und vollkommener Umkehrbarkeit noch Unterschiede der Arbeitsleistungsfähigkeit je nach den verwendeten Stoffen oder auch nach sonstigen Eigentümlichkeiten des Baues der Maschine bestehen könnten. Diese Frage kann Carnot durch einen Gedankenversuch endgültig verneinen. Er stützt sich dabei — wie vor mehr als 200 Jahren zum erstenmal schon Stevin — auf die Erfahrung der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile. Würde eine der zu vergleichenden Maschinen besser wirken als die andere, so lasse man sie mit einem Teil ihrer Arbeit jene andere rückwärts treiben, wobei die Temperaturstufe, die in der treibenden Maschine gebraucht wird, vermöge der Wirkung der anderen Maschine ohne Wärmezufuhr erhalten bleibt und außerdem noch der Arbeits-Überschuß der besser wirkenden Maschine ständig verfügbar ist. Dies wäre ein Perpetuum mobile. So unmöglich eine solche Vorrichtung befunden ist[1]), so wenig können die Wirkungsgrade der gedachten verschiedenen Maschinen voneinander sich unterscheiden. So kommt Carnot zum Schluß, daß alle vollkommen umkehrbaren Maschinen, die mit der gleichen Temperaturstufe arbeiten, gleich wirksam sein müssen und daß ihre Arbeitsleistungen außer mit der verfügbaren Wärmemenge nur mit der nutzbaren Temperaturstufe zusammenhängen können und zwar mit beiden wachsend sein müssen. Diese Erkenntnis ist für die Dampfmaschine und für alle seither noch gebauten Wärmemotoren grundlegend wichtig geworden; auch bereits ohne die von Robert Mayer und danach Clausius hinzugefügten weiteren Erkenntnisse kann Carnot am Schlusse seiner Schrift treffende Erörterungen über die möglichen Verbesserungen der Dampfmaschine an seine Erkenntnis knüpfen. Daß er außerdem sehr fein gedachte Schlüsse in bezug auf die Wärme-Eigenschaften der Gase entwickelt, sei hier bloß erwähnt.

Carnot's Gedankenreihen sind miteinander und mit der Erfahrung wohlverbunden; dennoch fehlt dieser Verbindung die allseitige Geschlossenheit. Dies fühlt Carnot selbst, und er bemerkt an mehreren Stellen offene Fragen. Diese betreffen besonders die Annahme der Unveränderlichkeit der Wärmemengen, welche Carnot gelten läßt, nicht ohne aber anzumerken[2]), daß diese Annahme, welche „Grundlage der

[1]) Carnot weist hierbei auch auf die mit Volta's Batterien gemachten Erfahrungen hin, daß auch diese Vorrichtungen keineswegs als unerschöpfliche Quellen, etwa magnetischer Kräfte betrachtet werden können, sondern stets deutliche Zeichen von Erschöpfung geben und also auch kein Perpetuum mobile liefern.

[2]) Fußnote in Carnot's Schrift. In der Übersetzung S. 22 und 23.

ganzen Theorie der Wärme" sei[1]), immerhin noch „eine aufmerksame Untersuchung nötig" habe, da „mehrere Erfahrungstatsachen nach dem gegenwärtigen Zustand der Theorie fast unerklärlich zu sein scheinen". Nach der in damaliger Ermangelung besserer Kenntnis gemachten Annahme würde in der Dampfmaschine die den Kessel mit dem Dampf verlassende Wärmemenge unvermindert im Kondensator wieder abgegeben werden, nur auf niedrigere Temperatur gesunken, wie das Wasser in einer Turbine nicht weniger wird, sondern durch bloßes Herabsinken seine Arbeit leistet. Dies ist nach Robert Mayer's Erkenntnis vom Jahre 1842 nicht zutreffend. Die Wärme wird weniger; sie verwandelt sich zu einem Teile in Arbeit. Es zeigte sich später aus Carnot's nachgelassenen Papieren[2]), daß er selbst schon bis zu solcher Erkenntnis gekommen war, an deren Verfolgung ihn aber der allzu frühe Tod verhindert hatte, so daß sie gänzlich verborgen geblieben war.

Sadi Carnot, geboren zu Paris, war zweitältester Sohn des als Napoleons Minister und damaligem Organisator von Frankreichs Landesverteidigung bekannten Nicolas Marguerite Carnot. Er studierte technische Wissenschaften[3]) und trat dann in den Militärdienst. Einige Jahre nach Napoleons Abdankung, die seinen Vater in die Verbannung brachte, trat er in den Ruhestand, um in größter Zurückgezogenheit ganz seinen wissenschaftlichen Studien sich zu widmen. Diese Lebensweise wurde nur durch eine Reise nach Deutschland unterbrochen, wo er seinen in Magdeburg lebenden Vater besuchte, und später, nach Veröffentlichung seiner „Betrachtungen", durch einen kurzen Wieder-Eintritt in den Heeresdienst, wobei er zum Hauptmann befördert wurde. Er verstarb früh, nur 36 Jahre alt, als Opfer einer Cholera-Epidemie.

Seine letzten Studien, die unvollendet blieben, sowie seine sonstigen Aufzeichnungen[4]) zeigen nicht minder als seine veröffentlichte Abhandlung, daß es ein seltener Geist war, der hier so früh abschied. Es sei nur erwähnt, daß im Nachlaß auch ein Zahlenwert für das Arbeitsäquivalent der Wärme (1000 mkgr/2·7 Kal = 370 mkgr/Kal, ohne nähere Begründung) angegeben sich findet, zusammen mit Entwürfen zu einem

[1]) Noch 2 Jahre vor Carnot's Schrift war in dem 1822 erschienenen großen Werke von Fourier, „Théorie de la Chaleur" („Theorie der Wärme"), die Unveränderlichkeit der Wärmemengen mit Erfolg durchgeführt worden. Allerdings behandelt das durch vorbildliche Klarheit und große mathematische Kunst ausgezeichnete Werk nur Vorgänge der Wärmeleitung, für welche jene Unveränderlichkeit auch genügend genau gilt.

[2]) Erst im Jahre 1878 herausgegeben von seinem Bruder als Anhang zu einer zweiten Auflage der Schrift „Reflexions sur la puissance motrice du feu" (Paris, Gautier-Villars).

[3]) Unser Bildnis stellt ihn im Alter von 17 Jahren in der Kleidung der Studierenden der Pariser „Ecole polytechnique" dar.

[4]) In der schon angemerkten Herausgabe seines Bruders.

wesentlichen Teil der später von Joule ausgeführten Messungen[1]). Daneben finden sich Äußerungen — wie über rassenverderbende Wirkung der Kriege, über Religion, über gebräuchliches und zu reinigendes Christentum —, die mit bemerkenswerter Klarheit auch heute noch ungeheilte Schäden aufdecken[2]).

Georg Simon Ohm
(1789—1854).

Ohm's Gesetz ist heute jedem Elektrotechniker geläufig. Es ist das Mittel, die Stärke eines elektrischen Stromes voraus zu berechnen, wenn die Kraft der Stromquelle und die Beschaffenheit des Leiterkreises bekannt sind. Nachdem durch Volta die ergiebige Quelle, durch Oersted die leichte Meßbarkeit elektrischer Ströme gegeben waren, auch Ampère eine brauchbare, feste Fassung des Strombegriffes eingeführt hatte, war — so könnte man denken — für die Vielen, die nun mit den Strömen bereits sich zu beschäftigen begonnen hatten, die Kenntnis der Abhängigkeit der Stromstärke von ihren maßgebenden Bestimmungsstücken ein Bedürfnis geworden. Aber weit gefehlt! Ohm verkündete zu seiner Zeit sein Gesetz tauben Ohren, woraus klar wird, einerseits wie wenig tiefgehend die Bedürfnisse der Vielen waren, andererseits wie sehr im klaren Denken Ohm seiner Zeit voraus war. In der Tat waren nur Davy und Ampère vor ihm dem Gesetz schon nahe gekommen. Beide hatten schon im Jahre 1821 den Begriff des Leitungswiderstandes erfaßt, indem sie Abhängigkeiten der Stromstärke von der Beschaffenheit des Leiterkreises beachteten, wobei Davy die Stromstärke schätzungsweise nach den chemischen Wirkungen beurteilte, eine Reihe verschiedener Metalle als Leiter miteinander verglich, die Einflußlosigkeit der Form des Leiterquerschnittes durch Vergleichung einfacher, vielfacher und plattgewalzter Drähte feststellte und auch die Widerstandszunahme der Metalle bei Temperaturerhöhung fand.

Ohm war es, der die von diesem seltenen Forscher bereits beleuchteten Fragen erfaßte und nach jeder Richtung hin in allem Wesentlichen zu Ende untersuchte. Mit seinen geringen und mangelhaften Mitteln stellte er Reihen von entscheidenden Versuchen an, die sowohl die Frage der Spannungsverteilung im Stromkreis als auch die der Strom-

[1]) Auf Robert Mayer's Verdienst, dieses Äquivalent zuerst bekannt gegeben, sowie überhaupt den Gedanken an dasselbe aufgefunden zu haben, ebenso wie auf Joule's Verdienst, die Versuche ausgeführt zu haben, ist dies ganz ohne Bezug — denn Carnot's Gedanken waren völlig verborgen geblieben —; wohl aber ist es von Belang für die Einschätzung, die man von Sadi Carnot sich machen darf.

[2]) S. 83—87 der genannten Herausgabe vom Jahre 1878.

stärke vollkommen erledigten, und er wußte seine Ergebnisse auch scharf formuliert in Gleichungen zu fassen, als deren weitaus wichtigste dann das „Ohm'sche Gesetz" dauernde Leuchte blieb: „Stromstärke gleich treibender Spannung (elektromotorischer Kraft) geteilt durch Widerstand." Wendet man dies Gesetz nicht nur auf den ganzen Stromkreis an, sondern sinngemäß auch auf beliebige Teile desselben, so hat man auch die Spannungsverteilung überall im ganzen Kreis.

Einen Teil seiner Versuche stellte Ohm mit Volta'schen Elementen an; besonders wies er so auch den Spannungsabfall längs eines langen, dünnen Schließungsdrahtes nach, wobei er, wie Volta, des Kondensators sich bediente. Es wurde so ersichtlich — was Ampère noch offen ließ —, daß die Spannung der Stromquelle nicht verschwindet wenn der Strom geschlossen wird, sondern daß sie sich in bestimmter Weise, je nach den Widerständen verteilt. Ohm erkannte dabei auch, daß den von Volta entdeckten Stromquellen die Eigenschaft zukommt, an den Berührungsstellen der verschiedenen Leiter stets — mit oder ohne Stromschluß — eine bestimmte Spannungsstufe aufrechtzuerhalten, die nur von der Natur der betreffenden Leiter abhängt. Diese Spannungsstufe wird auch die „elektromotorische Kraft" der betreffenden Stromquelle genannt. Daß dieselbe für das gewöhnliche Volta'sche Element nicht allzu konstant ist, sondern „wogt" (wie Ohm sich ausdrückt), davon sieht Ohm schon die Ursache in den stofflichen Veränderungen, die bei Stromgebrauch im Element selbst vor sich gehen. Die späteren „konstanten galvanischen Elemente", die diese stofflichen Einwirkungen vermeiden, waren damals noch nicht erfunden, und dies erschwerte Ohm's Arbeit zunächst wesentlich. Er wußte sich aber dagegen zu helfen, indem er auf Rat von Poggendorff das damals eben gefundene Thermoelement als Stromquelle benutzte. Es war eine im Jahre 1821 erfolgte Entdeckung von Seebeck (lebte 1770—1831 in Deutschland), daß ein aus verschiedenen Metallen gebildeter Kreis die Magnetnadel ablenkt, sobald Temperaturunterschiede in ihm vorhanden sind. Seebeck nannte das „magnetische Polarisation der Metalle durch Temperaturdifferenz" oder „Thermomagnetismus". Ohm faßte die Entdeckung sogleich dahin auf, daß eine neue Stromquelle gefunden war, die ganz aus Leitern erster Klasse besteht. Man kann auch sagen, es war gefunden, daß Volta's Spannungsreihe sich umordnet, wenn die Temperatur eine andere wird. Indem Ohm ein Wismutstück in den sonst aus Kupfer bestehenden Stromkreis schaltete und die eine Berührungsstelle dieser beiden Leiter in kochendes Wasser, die andere in Eis tauchen ließ, erhielt er sehr konstante Ströme, die er an einem ebenfalls in dem Stromkreis befindlichen, sehr einfachen Galvanometer beobachtete. Hier hatte er eine verläßliche, unveränderliche elektromotorische

Kraft zur Verfügung, und es war daher möglich, die Einflüsse der in den Stromkreis geschalteten Widerstände auf die Stromstärke in zuverlässiger, einwandfreier Weise zu studieren. So wurde auch sicher, daß der „Widerstand" eines Leiters in Ohm's Gesetz proportional seiner Länge und verkehrt proportional seinem Querschnitt und seinem „Leit-



Bild 46. Georg Simon Ohm.
Einziges nach der Natur aufgenommenes Bildnis.

vermögen" ist. Der Zusammenhang mit dem Querschnitt zeigte, daß die gleichmäßig fließende Elektrizität — im Gegensatz zur ruhenden — nicht an der Oberfläche ihren Sitz hat, sondern im ganzen Inneren des Leiters verbreitet ist. Ohm beginnt auch schon den Übergangszustand vom Ruhen zum Fließen der Elektrizität bei Stromschluß zu betrachten, wenn auch hierüber mit damaliger Kenntnis noch nicht Treffendes zu

sagen war. Doch findet er schon richtig, daß das Leitvermögen von Flüssigkeiten — im Gegensatz zu dem der Metalle — bei Temperaturerhöhung wächst.

Ohm entstammte einer altansässigen Erlanger Bürgerfamilie[1]). Er erhielt von seinem Vater, der Schlossermeister war, eine sorgfältige Erziehung; seine Mutter war früh verstorben. Während er das Gymnasium besuchte, wurde er von seinem Vater auch in die Mathematik und Physik erfolgreich eingeführt, der zu diesem Ende so wie aus eigener Wißbegierde in seinen alten Tagen neben dem Handwerk unter Verzicht auf Vieles diese Wissenschaften selber aus Büchern studiert hatte. Mit 16 Jahren begann Ohm dann an der Universität seiner Vaterstadt Mathematik, Physik und Philosophie zu studieren, was ihn aber nicht allzusehr festgehalten zu haben scheint. Auch mangelten Mittel, so daß er schon nach einem Jahre die Universität verließ und eine Lehrerstelle an einer Privatschule in der Schweiz annahm. Erst später promovierte er in Erlangen, wo er dann auch Privatdozent wurde. Bald veranlaßte ihn jedoch wieder Mangel an Mitteln, von der Universität sich zu trennen. Er bewarb sich um Verwendung im Mittelschuldienst und war dann von 1813 bis 1826 Lehrer der Physik und Mathematik erst an der Realschule zu Bamberg, dann am Kölner Gymnasium. In Köln entstanden seine schon erläuterten wichtigsten Arbeiten. Da er nur wenig freie Zeit und nicht viel Hilfsmittel — die er teils selbst verfertigte — zur Verfügung hatte, erfolgte die Veröffentlichung in verschiedenen kleinen Abhandlungen, die einander ergänzten[2]), bis eine Beurlaubung ihm eine mehr zusammenfassende Darstellung ermöglichte. Dieselbe erschien, allerdings mit Weglassung der Erfahrungsgrundlagen, 1827 in der selbständigen Schrift „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet".

Ohm war sich der Wichtigkeit und des Erfolges seiner Arbeit wohl bewußt, und er erwartete einige Anerkennung, besonders wünschte er sich bessere Arbeitsgelegenheit als an Mittelschulen, deren Betrieb ihn auch wenig befriedigte. Er nahm deshalb seinen Abschied aus dem Schuldienst, hatte aber dann 7 Jahre unter sehr knappen Verhältnissen zu warten, bis ihm, nach mancherlei Gesuchen, vom König von Bayern ein entsprechendes Lehramt übertragen wurde, wenn auch nicht in

[1]) Eine sehr ausführliche Darstellung von Ohms Lebensschicksalen, zusammen mit der Geschichte seiner Verwandten und Vorfahren, bietet Ritter v. Füchtbauers Werk „G. S. Ohm", Berlin 1939. Außerdem eingehende Nachweise in der Urkundensammlung von L. Hartmann, „Aus G. S. Ohm's handschriftlichem Nachlaß", Bayerland-Verlag, München 1927.

[2]) Siehe „Gesammelte Abhandlungen von G. S. Ohm", herausgegeben und eingeleitet von E. Lommel, Leipzig 1892. Dort auch Ohm's spätere Arbeiten über Gegenstände der Optik und Akustik. Letztere gaben die Grundlage zur Klärung des Wesens der Klangfarbe.

München, wo damals Gelegenheit dazu gewesen wäre, so doch an der polytechnischen Schule in Nürnberg. Dort wirkte Ohm durch 16 Jahre, in welcher Zeit allmählich die Anerkennung seiner Leistung, besonders auch vom Ausland her sich einstellte. Im 60. Lebensjahre ging ihm endlich der Wunsch in Erfüllung, an einer Universität wirken zu können; er wurde nach München berufen. Kaum fünf Jahre später schon beendete kurze Krankheit sein Leben. Er war immer unverheiratet und sehr anspruchslos geblieben.

Karl Friedrich Gauß

(1777—1855).

Der Fürst unter den Mathematikern wurde er genannt. Doch kann er als Mathematiker hier von uns nicht gewürdigt werden; wohl aber ist zu zeigen, inwiefern er Naturforscher war. Er war noch einer von den großen Mathematikern, der den Ursprung der Mathematik, Naturerkenntnis fördern zu wollen, in seinen Werken nicht verleugnete, wenn auch ausgesprochenermaßen die reine Mathematik — die Mathematik als Geisteswissenschaft — für ihn den höheren Reiz hatte.

Gauß war in der Tat sein ganzes Leben hindurch auch Naturforscher. Schon mit 24 Jahren berechnete er die Bahn des im Jahre 1801 entdeckten ersten kleinen Planeten, Ceres genannt, der nur kurze Zeit beobachtet werden konnte, weil er bald zu nahe der Sonne stand; er wäre ohne Gauß' Berechnung wieder verloren gegangen, d. h. damals überhaupt nicht als eigenartiger Planet feststellbar geworden. Diese gelungene Berechnung aus einem nur sehr kurzen, beobachteten Bahnstück erregte sogar die Bewunderung von Laplace; Gauß war jedoch damals auch schon im Besitze der von ihm in seinem 18. Lebensjahr erfundenen „Methode der kleinsten Quadrate", welche es erlaubt, den Einfluß der unvermeidlichen Beobachtungs-Ungenauigkeiten bei rechnerischer Verwertung der Beobachtungen möglichst klein zu machen. Damit war die Reihe der Entdeckungen der zwischen Mars und Jupiter kreisenden „Planetoiden" eingeleitet; es sind deren bis heute schon an 2000 aufgefunden worden. Das Rechenverfahren, nach welchem sie alle in ihrem Verlaufe verfolgt werden, hat Gauß erst im Jahre 1809 in seiner „Theoria motus corporum coelestium" („Theorie der Bewegung der Himmelskörper") veröffentlicht, wobei er über Laplace's damals teilweise schon erschienene „Mécanique Céleste" noch hinausgeht. Für Naturforschung und Naturerkenntnis bedeutet dies alles allerdings nur Rechenkunst nach Newton's Entfernungsquadrat-Gesetz; jedoch, ohne diese Kunst wäre es niemals so sicher geworden, daß dieses Gesetz mit der äußersten Strenge

aller Nachmeßbarkeit und ausnahmslos durchs ganze Sonnensystem gilt. Eben an dem Zutreffen neuartiger und genau nachprüfbarer Folgerungen werden alle erkannten Naturgesetze fortdauernd auf die besten Proben ihrer Übereinstimmung mit der Wirklichkeit gestellt. In dieser Hinsicht ist noch die 1846 — noch zu Gauß' Lebenszeit — erfolgte Errechnung des sonnenfernen Planeten Neptun aus den beobachteten, geringen Störungen des Uranus zu nennen, als ein besonderes Wahrzeichen berechtigter Erkenntnisfreude, errungen auf Grund von Laplace's und Gauß' Methoden, 160 Jahre nachdem Newton mit seinen „Principia" vorangegangen war.

In anderer Richtung ist Gauß als Vollender von Laplace, wieder nach Newton's Gedankengängen, in seinen „Grundlagen einer Theorie der Gestalt von Flüssigkeiten im Zustand des Gleichgewichtes" aufgetreten (1830), worin er auf äußerste Strenge in mathematischer Hinsicht (Vermeidung von Willkür und Unbestimmtheit) ausgeht, ohne deren Geltendmachung in der Tat die Mathematik nicht minder irreführend sein kann als gewöhnlichstes, sogar oberflächliches Denken.

Ebenso wirkte Gauß auch in Hinsicht der unter Laplace's Leistungen schon erwähnten, mit dem verkehrten Entfernungsquadrat-Gesetz rechnenden „Potential-Theorie", welche er wesentlich weiter entwickelte. „Pauca sed matura" (Weniges aber Gereiftes) war sein Wahlspruch, und dem machen alle seine Veröffentlichungen auch vollste Ehre, deren Zahl zudem, die rein mathematischen hinzugenommen, nicht minder überwältigend ist, als der Inhalt.

Zutiefstgehend ist Gauß als Naturforscher in seinen Untersuchungen über die „Intensität der erdmagnetischen Kraft auf absolutes Maß zurückgeführt" aufgetreten (1832). Hier begründet er das für die Naturforschung seither immer unentbehrlicher gewordene System der absoluten Einheiten, das nachher für alle elektrischen und magnetischen Größen durchgeführt wurde, wozu auch sämtliche heute allgemein gebräuchlichen technischen Einheiten — „Coulomb", „Volt", „Ohm" usw. — gehören. Bei der experimentellen Arbeit verbündete er sich teilweise mit seinem 27 Jahre jüngeren Göttinger Kollegen Wilhelm Weber, dessen Haupt-Lebenswerk dann der Ausbau des Systemes für die elektrischen Größen mit sämtlichen dazu erst noch zu leistenden Vorarbeiten wurde. Gauß selbst beschränkte sich auf die Grundlegung von der Seite des Magnetismus her, ganz gestützt auf Coulomb's Gesetz für Magnetpole, welches dabei auch einer sehr verfeinerten, bestätigend ausgefallenen Nachprüfung unterzogen wurde.

Seinen Ursprung hat das System der absoluten Einheiten bei den 3 Grundeinheiten: des Raumes, der Masse und der Zeit (cm, gr, sek); alle anderen Einheiten werden aus diesen, ausschließlich mittels Natur-

gesetzen, also ohne andere Willkür als die etwa in der Auswahl dieser Gesetze liegt, hergeleitet. Die gewöhnliche Einheit der Kraft (das Gramm-Gewicht) ist dabei vermieden, da sie nur für eine bestimmte geographische Breite und Meereshöhe eine bestimmte Größe hat, ja außerhalb der Erde sogar jede beliebige Größe annähme. Vielmehr wird die Krafteinheit im absoluten System mittels Newton's 2. Bewegungsgesetz aus der Massen- und Beschleunigungs-Einheit (welche letztere aus der Längen- und Zeit-Einheit folgt) hergeleitet. Diese Krafteinheit ist sehr klein; sie hat ungefähr die Größe eines Milligramm-Gewichtes und hat später den Namen „Dyn" erhalten. Mittels der Krafteinheit kann aus Coulomb's Gesetz leicht eine magnetische Einheits-Polstärke abgeleitet werden. Ebensogut ließe sich aber auch mittels desselben, auch für Elektrizitäten gültigen Gesetzes eine Einheit der Elektrizitätsmenge herleiten. Hier scheiden sich die beiden Zweige des absoluten Maß-Systems: Der „elektromagnetische" Zweig entspricht der ersteren, von Gauß getroffenen Wahl; der „elektrostatische" der zweiten, später von Weber auch weiter verfolgten Möglichkeit.

Daß Gauß lieber den Magnetpol als die Elektrizitäts-Menge zur Hilfe nahm, dies war vor allem durch die Absicht gegeben, die Intensität (Stärke) des Erdmagnetismus in ihrer geographischen Verteilung auf einheitliches, zuverlässig einzuhaltendes Maß zurückzuführen, nachdem auf Reisen, besonders von A. von Humboldt und im Luftschiff zuerst von Gay-Lussac schon Vergleichsmessungen mittels Schwingungen mitgenommener Magnetnadeln angestellt worden waren. Es kam daher vor allem auf Festlegung einer absoluten Einheit der magnetischen Intensität (Stärke des „Magnetfeldes", wie man seit Faraday auch sagt) an und auf eine Methode, zuverlässige Messungen in dieser Einheit auszuführen. Beides hat Gauß in vorbildlicher, bis heute voll gültiger Weise erreicht. Das Magnetfeld Eins ist dadurch gegeben, daß in ihm der Pol Eins die Kraft Eins (1 Dyn) erfährt; eine Vervielfältigung der Polstärke sowohl als des Feldes ergibt (nach Coulomb's Gesetz) eine proportionale Vervielfältigung der Kraft. Die Meßmethode bezieht sich auf die horizontale Komponente der Feldstärke (im Sinn des Kräfteparallelogramms), was bei bekannter Inklination vollkommen genügt. Die — hier nicht weiter zu erläuternde — Gauß'sche Methode der absoluten Messung der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus ist dann, weit hinausgehend über die ursprüngliche Absicht, vermöge ihres vollendeten Aufbaues grundlegend wichtig für alle Magnetfeld-Messungen und damit auch für die Verwirklichung sämtlicher heute geläufigen elektrischen Einheiten geworden.

Am meisten bewundernswert erscheint in Gauß' Aufbau dieser Methode die einwandfreie Überwindung der begrifflichen Schwierigkeiten,

welche den „Magnetpol" — den Ausgangspunkt des Ganzen — umgeben, seit schon durch Gilbert und von Neuem durch Ampère klar geworden war, daß ein solcher Pol weder Sitz etwa eines besonderen „magnetischen Fluidums" noch auch überhaupt räumlich scharf begrenzbar ist. Die Überwindung geschieht unter Einführung des „magnetischen Momentes" der bei Durchführung der Messungen benutzten Magnetstäbe unter voller Würdigung von Ampère's damals schon bekannten Ergebnissen in einer Weise, die auch heute — da Ampère's Theorie des Magnetismus für feststehend zu halten ist — noch vollkommen befriedigt.

Gauß wurde in einem kleinen ärmlichen Hause zu Braunschweig von wenig bemittelten Eltern geboren. Die Gauß waren Bauern gewesen; sein Großvater war in die Stadt gezogen, wo er sich von Gärtnerei ernährte. Der Vater betrieb vielerlei Geschäfte, zuletzt auch meist Gärtnerei; er hatte die Tochter eines Steinhauers, Gauß' Mutter, in zweiter Ehe zur Frau. Es herrschte strenge Rechtschaffenheit in der Familie. Schon in frühen Jahren zu Hause und dann in der Volksschule hatte der kleine Gauß Zeichen außergewöhnlicher Begabung gegeben; das Lesen hatte er durch Erfragen der Aussprache der Buchstaben von selbst erlernt, und noch früher machte sein ganz unvorbereitetes Können im Kopfrechnen Staunen. Ebenso beherrschte er schnell die alten sowie neue Sprachen. Alles dies erregte schon von der Schule aus die Aufmerksamkeit auch weiterer Kreise, so daß schließlich der Vierzehnjährige beim Herzog Karl Wilhelm Ferdinand von Braunschweig vorgestellt wurde, der dann dauernd Gauß' Förderer und Beschützer war. Schon während er das Gymnasium besuchte, dürfte Gauß auch Newton's „Prinzipia" studiert haben, die er als sein bewundertes Vorbild rühmte, wie er überhaupt für Newton auch sonst stets unbegrenzte Verehrung bewahrte. Solche frühe Studien ermöglichten es Gauß, sein nur dreijähriges Universitäts-Studium in Göttingen sogleich mit der Erfindung der „Methode der kleinsten Quadrate" zu beginnen, worauf ununterbrochen weitere neuartige Leistungen erfolgten, die zu den hervorragendsten Fortschritten der Mathematik gehörten, zunächst aber unveröffentlicht blieben mit Ausnahme seiner berühmt gewordenen Dissertation, auf Grund deren er (in Helmstedt) ohne Examen zum Doktor promoviert wurde. Die äußeren Umstände des arbeitsreichen Lebens waren dann ziemlich einfach. Bis zum Tode des Herzogs bezog Gauß in Braunschweig ein festes Jahresgehalt, so daß er ganz seinen Arbeiten sich widmen konnte. Dann, im Jahre 1807, nahm er eine Berufung nach Göttingen an, wo er als Professor der Mathematik und Direktor der neu erbauten Sternwarte bis zu seinem im 78. Lebensjahre erfolgten Tode

wirkte. Gauß war zweimal verheiratet. Beide Gattinnen verstarben ihm frühzeitig; doch war von seinen 6 Kindern seine jüngste Tochter bis zu seinem Tode um ihn besorgt[1]).

Gauß' eigene Aussprüche über seine Denk- und Arbeitsweise könnten die Vielen belehren, die fortdauernd, besonders auch im Schulwesen, die hohe, geistig-erzieherische Bedeutung und Wirkung von Naturforschung und Naturwissenschaft, statt sie zu pflegen, verschwinden lassen, weil sie (die selbst nicht besser gelehrt wurden) die Hauptleistung im Mathematisch-Technischen suchen, das fast allein gepflegt wird. Demgegenüber macht es vielleicht mehr Eindruck als unsere schon zu Laplace's Leistungen gegebenen Erläuterungen es etwa vermögen, wenn bedacht wird, daß Gauß, der überragende Mathematiker, den analytischen Kalkül — obgleich er Meister in demselben war — nur als ein Hilfsmittel endgültig gesicherter, fehlerfreier Durchführung von vorher in einfacher Weise schon rein gedanklich getaner Arbeit betrachtete, dermaßen, daß er keine Feder zur Rechnung ansetzte, bevor nicht das Problem vollkommen fertig von ihm als lösbar durchschaut war. Was in Unterrichtsanstalten aller Art jetzt als „Naturwissenschaft" in steigendem Maße gelehrt wird, ist eben das, was Gauß — und erst recht Allen, die vorwiegend Naturforscher waren — bloßes Hilfsmittel, — Nebensache war: die mathematische Technik. In solcher Weise gelehrte Physik ist nicht Übungsfeld gesunden, einfachen Denkens an Hand der Natur, was sie der Menschheit in höchstem Maße sein könnte, sondern nur Übungsfeld für Rechen-Technik, das Vergnügen kleiner Geister. Damit es doch irgendwie nach Naturwissenschaft aussehe, treibt man in steigendem Übermaße Experimentier-Technik in Schulen, führt technische Errungenschaften und Schaustücke vor, meist besonders verwickelter Art — was wieder Gelegenheit zu viel Rechnen gibt —, und läßt darüber die einfachen Gedanken, die stets alle großen Forscher in Zwiesprache mit der Natur zu ihren Erfolgen, zu weltanschaulichen Einsichten geführt haben, und denen auch der erzieherische Wert innewohnt, versinken. Möchte die Betrachtung der großen Forscher helfen, die Menschheit von ihren Wahngedanken zu erlösen, sie aus ihrem Mikrokosmos wieder zum Makrokosmos, zur großen Natur zurückzuführen, der man dann aber nicht als „Beherrscher" gegenüberstehen würde, sondern als bescheidener Bewunderer. Das Herrschen über Motoren und drahtlose Wellen — mittels „Wissen" — veredelt die Menschheit nicht;

[1]) Über Gauß' Familienleben berichtet eine Festschrift zu seinem 150jährigen Geburtstage, „C. F. Gauß und die Seinen" von Heinrich Mack, Verlag Appelhans in Braunschweig, 1927, enthaltend Briefe, Bildnisse und Stammtafeln. Eine vollständige neuere Lebensbeschreibung hat L. Bieberbach gegeben; Keil Verlag, Berlin 1938.

es vergröbert und verroht, ja verdummt sie in der ersichtlichsten Weise. Dagegen die Freude an neugewonnener Einsicht erhebt, wo Verständnis dafür gepflegt worden ist. Solche Freude war für Gauß geradezu das Maßgebende bei seiner Arbeit; er sagte, daß er seine wissenschaftlichen Unternehmungen nur seiner selbst wegen, d. i. aus dem innersten Beruf

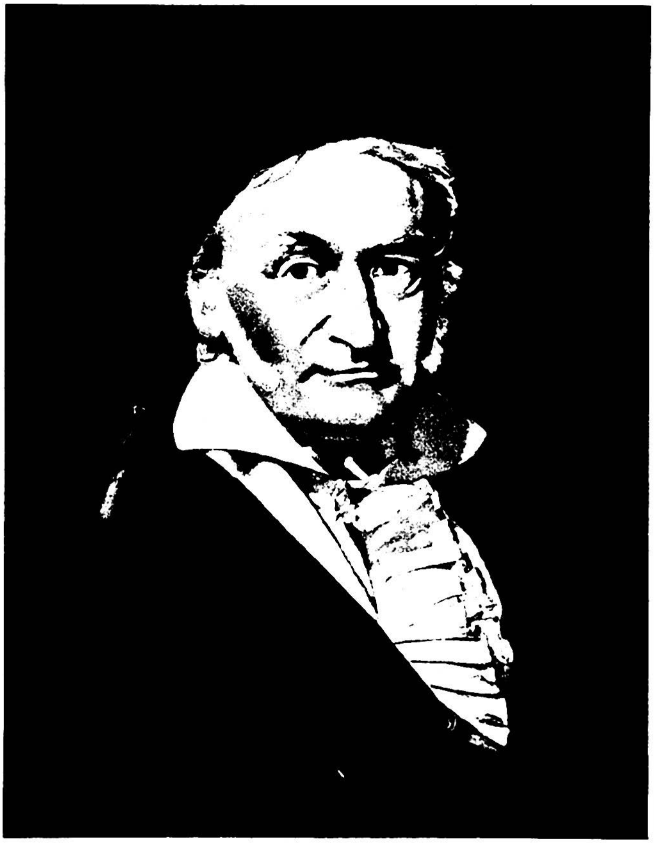


Bild 47. Karl Friedrich Gauß.

seiner Seele betreibe[1]). Dem entspricht es auch ganz, daß er nie mit Veröffentlichung sich beeilte, die ihm mehr Nebensache war. Dagegen hat er sich so eine unerschütterliche geistige Festigkeit erarbeitet, die mit tiefem religiösem Bewußtsein verbunden war. Grundlage war ihm dabei das Streben nach Wahrheit und das Gefühl für Gerechtigkeit. So erfaßte

[1]) Man sehe die zeitgenössischen Erinnerungen von Sartorius von Waltershausen, „Gauß zum Gedächtnis", Leipzig, Hirzel, 1856.



Michael Faraday
nach einem Gemälde von Thomas Phillips.

er das geistige Leben im ganzen Weltall als ein großes, von ewiger Wahrheit durchdrungenes Rechtsverhältnis, und aus dieser Quelle schöpfte er vornehmlich auch das unerschütterliche Vertrauen, daß die Laufbahn des Menschen mit dem Tode nicht geschlossen sei.

Michael Faraday

(1791—1867).

Hier taucht noch einmal ein Größter unter den Naturforschern auf, unvergleichlich in seiner Art nicht nur, sondern einzigartig im Reichtum der besonderen Geistesverfassung, welche den Forscher ausmacht, der mit seinen Sinnen im Unbekannten sucht, überall Neues zu sehen geradezu erwartet, und dem es durch Unermüdlichkeit auch gelingt, Neues in Fülle zu finden, indem er kleinste Zeichen von Absonderlichem oder noch nicht genügend Verstandenem erfaßt, und daran ein an reichen Naturstudien schon geschultes und ganz der Natur angepaßtes Denken mit äußerster Geduld in Fortsetzung und Vervielfältigung der Beobachtungen solange wendet, bis das Neue in seinem Wesentlichen zum Verständnis gebracht und somit neuer geistiger Besitz geworden ist. Die gar nicht zu zählenden Gelegenheiten, bei welchen Faraday diese seine Gaben im Laboratorium zur Wirkung brachte, haben Dingen von sehr verschiedener Wichtigkeit gegolten; von Entdeckungen allergrößter Tragweite bis zu kleinen Aufklärungen, die dem Denkenden Bedürfnis sind, wenn sie auch nicht immer wesentlich Neues offenbaren. Es zeigt sich dabei, daß auch der tiefstbegabte Forscher außerstande ist, weit ins Unbekannte vorauszusehen und daß sein Verdienst vielmehr darin besteht, seine Begabung mit Treue und äußerstem Fleiß stetig und ganz unbeeinflußt von Wünschen nach ansehnlichen Erfolgen, rein aus Liebe zu den Tiefen der Natur und — was auch zu Faraday's besonderer Eigenart gehörte — schon aus bloßem Entzücken an der Naturbeobachtung selbst, auszuüben.

Nur ein Teil von Faraday's gesamtem, über alle Zweige der Erforschung der unbelebten Natur sich erstreckendem Lebenswerk kann hier berührt werden. Sein Leben war von der Zeit an, da er allmählich unter den Menschen sich zurechtgefunden hatte und in höchst glücklicher Weise frühe zur Ausübung seiner Fähigkeiten gelangt war, so vollständig der Wissenschaft gewidmet, daß seine Lebensgeschichte und die Geschichte seiner Entdeckungen von selber vereint sich ergeben[1]).

[1]) Vortreffliche, eingehende Darstellungen bieten: Bence Jones, „Life and letters of Faraday", London 1870, und Tyndall, „Faraday as a discoverer" London 1868 und 1870. Eine kurze Lebens- und Charakter-Schilderung mit neuen Hinzufügungen gibt H. J. Gladstone, „Michael Faraday" (auch deutsch erschienen).

Faraday war dritter Sohn eines Grobschmieds, der bald nach seiner Verheiratung nach London gezogen war, vorher aber im Norden Englands (Yorkshire) gelebt hatte, wo Faraday's Großvater Maurer war. Die Familie gehörte der kleinen, aber streng religiösen Gemeinde der Sandemanianer an. Nach einigem Schulunterricht einfachster Art wurde Faraday mit 13 Jahren in einen kleinen Buchhändler- und Buchbinder-Laden in die Lehre gegeben. Er hatte zuerst Zeitungen auszutragen; später, mit 17 Jahren, durfte er das Buchbinden lernen. Bücher über Chemie und Elektrizität, die hierbei in seine Hände kamen, hielten ihn fest und führten ihn zu immer weiteren Studien aus Büchern, auch zum Besuch von allgemeinverständlichen naturwissenschaftlichen Abend-Vorlesungen, die in der Nähe gehalten wurden, bis er durch einen Kunden seines Lehrherrn die Möglichkeit erhielt, mehreren Vorlesungen von Davy in der „Royal Institution" beizuwohnen. Von da an entwickelte sich sein Vorsatz, womöglich das Geschäftsleben zu verlassen, dessen Denkweise er haßte, und ganz der Wissenschaft sich zuzuwenden, die er liebte. Er schrieb zu dieser Zeit (1812) ein Gesuch um irgendwelche, wenn auch untergeordnete wissenschaftliche Verwendung an den Präsidenten der „Royal Society", welches aber unbeantwortet blieb. Mit Hilfe eines Buches und eigener Übung hatte er perspektivisches Zeichnen gelernt, und ähnlich schritt er in allerlei Wissenszweigen durch Ausnutzung der Mußestunden vor, die ihm sein Lehrherr ließ. Wie er in Denkweise und zugleich in sprachlichem Ausdruck vorschritt, dies zeigen noch erhaltene, sehr lange Briefe, die er mit einem in Schulen gebildeten, etwas jüngeren Freunde wechselte. Unterdessen hatte er die bei Davy gehörten Vorlesungen sauber ausgearbeitet und mit Zeichnungen versehen in ein Quartbändchen niedergeschrieben, und dies sandte er an Davy mit der Bitte, ihn in seinem Laboratorium irgendwie zu verwenden. Darauf kam schnell günstige Antwort. Davy hatte sogleich einen der Verwalter der „Royal Institution" in der Angelegenheit zu Rate gezogen und ihn gefragt, was mit dem Gesuchsteller wohl anzufangen sei. „Lassen Sie ihn Flaschen spülen," sagte dieser, „taugt er etwas, so wird er es annehmen; lehnt er es ab, so taugt er nichts." Danach wurde verfahren, obgleich Davy sogleich meinte, der junge Mann schiene ihm zu etwas besserem gut zu sein. Damit war Faraday's Lebenslauf entschieden. Er gehörte für sein ganzes Leben der „Royal Institution" an (1813 bis 1858), beginnend als Davy's Assistent mit wöchentlicher Vergütung, und endigend als dessen Nachfolger.

Es hätte keinen geeigneteren Lehrmeister der Wissenschaft für Faraday geben können als gerade Davy, der ihm — wenn man heute die gesamte Reihe der großen Forscher übersieht — geistig unzweifelhaft am nächsten verwandt war. Welches Glück, daß diese Beiden noch als

Zeitgenossen und am selben Orte sich finden konnten! Wenn Graf Rumford's Gründung, die „Royal Institution", sonst keinen Erfolg gehabt hätte: Allein daß sie für Davy und Faraday höchst geeignete Arbeitsstätte war, dies würde die Gründung der Anstalt und ihre Beschaffenheit und Verfassung, wie sie war, für alle Zeiten glanzvoll gerechtfertigt haben.

Faraday hatte schon vorher mit kleinen Hilfsmitteln zu experimentieren angefangen, so daß er Davy alsbald bei allerlei Vorbereitungen zu seinen Versuchen und auch bei diesen selbst wirksam helfen konnte, unter anderem auch bei der von Davy damals unternommenen gefahrvollen Untersuchung des Chlorstickstoffs. Zugleich war er fortdauernd mit Selbst-Erziehung in jeder Hinsicht eifrig beschäftigt, wozu er auch einer kleinen Gesellschaft Gleichgesinnter, der „City philosophical Society" („Philosophische Gesellschaft der inneren Stadt") sich anschloß, deren Mitglieder in abendlichen Besprechungen und abwechselnd gehaltenen Vorträgen einander zu bilden suchten. Es folgte dann eine der großen Reisen Davy's, wobei ihn Faraday als wissenschaftlicher, aber auch sonstiger Gehilfe begleiten durfte. Nach der Rückkehr, mit 23 Jahren, beginnt Faraday's schon einigermaßen selbständiges wissenschaftliches Leben, wenn auch seine Stellung als Assistent noch für mehrere Jahre ungefähr dieselbe wie früher blieb. Davy betraute ihn zuerst mit kleinen selbständigen chemischen Arbeiten, wobei er aber bald zu wertvollen Ergebnissen, wie zur ersten Auffindung von Verbindungen des Chlors mit Kohlenstoff fortschritt, die er eingehend untersuchte und quantitativ analysierte. Auch akustische Studien beschäftigten ihn damals, während er gleichzeitig die in der „Royal Institution" zu haltenden Experimental-Vorlesungen vorzubereiten und in diesen auch zu assistieren hatte. Dabei machte er sich reichlich eigene Gedanken über alles, was zu wirksamer und würdiger Durchführung solcher Vorlesungen dienlich sei. In der „City philosophical Society" hatte er auch selbst schon mit Vorträgen begonnen, die er frei hielt, jedoch vorher sorgfältig schriftlich ausarbeitete, was ihn schnell bis zu bewunderter Meisterschaft in Darstellungskunst und dabei auch in experimenteller Vorführungskunst brachte.

Nachdem er so durch etwa 6 Jahre seine Fähigkeiten erprobt und dabei Davy's Beifall gefunden hatte, auch die früher von Davy benutzten Wohnräume im Gebäude der „Royal Institution" ihm zugesprochen waren, verheiratete er sich, 30 Jahre alt, mit der Tochter eines der Ältesten der Sandemanianer, eines Goldschmiedes. Die Ehe war glücklich für sein ganzes Leben, doch blieb sie kinderlos.

Es folgen nun 10 Jahre eifrigster und sehr vielseitiger wissenschaftlicher Tätigkeit, über die hier nur zusammenfassend berichtet werden

kann, da diese Zeit — rückschauend betrachtet — nur die Einleitung zum Höhepunkt seiner Entdeckerleistungen bildet, so sehr auch die Ergebnisse ausreichen würden, um einen Forscher mit recht gutem Namen auszustatten. Es gehören in diese Zeit die teilweise gemeinsam mit Davy ausgeführten grundlegenden Untersuchungen über die Verflüssigung der Gase. Stoffe, die im Gaszustand entdeckt und bisher in ihm allein bekannt waren, wie Chlor, Kohlensäure, Ammoniak, schweflige Säure, Salzsäure, wurden hier zum ersten Mal in den flüssigen Zustand übergeführt, was zugleich die Überzeugung von der greifbaren und wägbaren, materiellen Beschaffenheit der Gase und von der Unwesentlichkeit der nur durch Temperatur und Druck bestimmten Erscheinungsform des Aggregatzustandes endgültig befestigte. Auch sehr ausgedehnte Arbeiten über Stahl-Legierungen und ähnlich umfangreiche Studien über Herstellung neuartiger optischer Gläser wurden durchgeführt. Ferner entdeckte Faraday zu dieser Zeit den später so wichtig gewordenen, Benzol genannten Kohlenwasserstoff[1]. Es fielen in diese Jahre auch Ampère's wichtige Arbeiten, die Faraday mit großer Bewunderung nicht nur studierte, sondern sogleich in eigenen und erweiterten Beobachtungen sich vorführte, wobei er die für das Verständnis so wichtigen elektromagnetischen Drehungen von Magnetpolen um Ströme und von Stromleitern um Pole in die Erscheinung brachte. Waren hierbei auch Andere ihm teilweise zuvorgekommen, so leiteten diese Studien doch wirksam die nun folgende Periode seiner großen Entdeckungen ein, indem sie ihn in den vollen geistigen Besitz alles über den Elektromagnetismus Bekannten setzten und zwar aus eigener Anschauung.

Faraday war 40 Jahre alt geworden; er war als bewunderter Redner in den großen Vorlesungen der „Royal Institution" Davy's Nachfolger geworden, auch zum Direktor des Laboratoriums ernannt und somit zu günstigster Arbeitsgelegenheit gelangt. Es erfolgte nun im Herbst 1831 die Entdeckung der elektromagnetischen „Induktion".

Es ist dies der neuartige, damals von Niemanden vorausgesehene Vorgang von Stromerzeugung, der heute, längst im Großen durchgeführt, fast alle anderen Stromerzeugungsmittel verdrängt hat, ja der überhaupt die Herstellung stärkster elektrischer Ströme — wie sie mit Volta'schen Elementen niemals erreichbar waren — erst ermöglicht

[1]) Philosophical Trans. of the Royal Soc. 1825, S. 440. Er erhielt das Benzol durch eingehende Untersuchung eines Ölgasverdichtungsprodukts und stellte seine quantitative Zusammensetzung, Dampfdichte und viele sonstige Eigenschaften aufs sorgfältigste fest. Man darf dieser grundlegenden Untersuchung heute, da die Abkömmlinge des Benzols einen großen Zweig der Chemie bilden, besonders gedenken.

und damit die Grundlage zu den schon gewaltig gewordenen Erfolgen der Starkstrom-Technik gegeben hat. Der Vorgang war nicht vorausgesehen insofern er aus keinen bekannten Tatsachen erschlossen wurde; jedoch Faraday war der Forscher, der unzählige Analogien zu Bekanntem, naher und entferntester Art, in seinem Geiste auftauchen ließ, und der nicht müde wurde, sowohl mit größter Zuversicht nichts für unmöglich zu halten, bevor es aufs Äußerste erprobt war, als auch mit allen Kräften die Erprobung nach jeder ersichtlichen Richtung hin durchzuführen. Oersted und Ampère hatten Magnetismus durch Elektrizität erhalten; sollte es nicht möglich sein, Elektrizität durch Magnetismus zu erhalten? Dies war eine von Faraday's einfachen Fragestellungen. Außerdem war die Erscheinung der Influenz bekannt, wobei eine vorhandene elektrische Ladung eine neue erzeugt; sollte es nicht möglich sein, mittels eines vorhandenen elektrischen Stromes einen neuen zu erzeugen? Faraday führte, so geleitet, eine große Zahl verschiedenartiger Versuche aus mit der Absicht, elektrische Ströme in Drähten zu erzeugen, oder darin fließende zu ändern, durch Heranbringen von Magneten oder von stromführenden Leitern; aber alles erfolglos. Es war unter diesen Versuchen auch derjenige, den man heute gern als Grundversuch von Induktion eines Stromes durch einen anderen anführt: Zwei geradlinige Drähte waren nebeneinander nur durch Papierdicke isoliert getrennt, der eine mit Stromquelle, der andere mit Galvanometer; aber es zeigte sich nichts. Die damaligen Stromnachweismittel waren zu unempfindlich. Faraday kam aber immer wieder — zwischendurch, nach anderen Arbeiten — auf solche Versuche zurück. Er ließ, nach den Mißerfolgen mit einfacheren Einrichtungen, einen Ring aus weichem Eisen machen, 2 cm dick und 15 cm im äußeren Durchmesser und bewickelte ihn an zwei diametral entgegengesetzten Stellen mit verschiedenen Lagen Kupferdrahtes, jede Windung und jede Lage



Bild 48. Michael Faraday.

gut mittels zwischen gelegten Bindfadens und Kattuns isoliert. Die Bewickelung der einen Ringseite konnte mit Volta's Batterie verbunden werden, die der anderen mit einem einfachen Galvanometer, das zunächst nur aus einer Magnetnadel und darübergelegtem Draht bestand. Hier zeigte sich zum ersten Mal eine Wirkung, eine geringe Ablenkung der Galvanometernadel, zwar nicht während des Fließens des Stromes im batterieverbundenen Draht, wohl aber beim Herstellen des Stromschlusses. Ebenso erfolgte beim Öffnen des Stromes wieder eine geringe Ablenkung und zwar in diesem Fall in der entgegengesetzten Richtung. Diese Erscheinungen waren so nicht erwartet worden, aber sie waren da; das Neue war gefunden[1]). Der Batteriestrom „induzierte" also doch einen Strom im anderen Draht, wenn es auch kein dauernder war, wie von einer Volta'schen Batterie, sondern nur ein kurzer Stoß, etwa wie bei der Entladung einer Leydener Flasche, und dieser Stoß kam während der Einführung des Stromes in den einen Leiter und er wiederholte sich in entgegengesetzter Richtung beim Erlöschen des Stromes. Diese Erkenntnis, hängend zuerst an einer nur ganz schwachen Bewegung der Galvanometernadel, war es, von der aus Faraday weiter ins Unbekannte vorzudringen vermochte.

Man bemerkt mit heutiger Kenntnis die gute Eignung gerade der Ringanordnung zur Hervorbringung besonders starker Induktionswirkungen, und man sieht, wie Faraday durch beharrliche Abänderung der Versuchsbedingungen im Vertrauen auf den Reichtum der Natur die Ungunst der einfachen Hilfsmittel überwunden hat[2]).

In angestrengter Arbeit förderte er dann im Laufe eines Vierteljahres große Reihen wichtigster neuer Tatsachen ans Licht. Versuche und Beobachtungen wechselten ab mit Herstellung immer wieder neuer Hilfsmittel. Spulen aus Kupfer-, aus Eisendraht, verschiedener Formen und Längen, mit und ohne Eisenkern, Stromnachweismittel verschiedener Art wurden vorbereitet. Viel erfolgloses Suchen gab es noch; es durfte nicht erschrecken. Wenn gar nichts ging, kam, wie zum Trost, der ursprüngliche Eisenring wieder an die Reihe. Aber die einsichtbringenden Erfolge häuften sich bald dichter, und am Ende des Vierteljahres war Faraday im Besitz all der Kenntnisse, die heute und für alle Zeiten Grundlage in Wissenschaft und Technik sind zur Einsicht in das überall

[1]) Es war dies am 29. August 1831, und dies ist somit der Entdeckungstag der Induktion nach den erfolglosen Versuchen der Jahre 1824, 1825 und 1828. Man ist erst seit der kürzlich erfolgten Herausgabe von Faraday's Experimentier-Tagebüchern (London 1932, 7 Bde., besorgt durch Th. Martin) in der Lage, sein Vorgehen mit Zeitfolge und Einzelheiten zu ersehen.

[2]) Ein schönes Marmorstandbild im Treppenhaus der „Royal Institution" stellt Faraday vortragend mit dem Ring in der Hand dar.

wichtige und mächtige Wirken dieses somit erkannten Naturvorganges, der Induktion.

Die Induktion in Spulen ganz ohne Eisen, auch in geradlinigen Drähten, auch beim Nähern und Entfernen der aufeinander wirkenden Drähte wurde gefunden, und es folgte der Nachweis, daß auch bloße Stahlmagnete induzierend wirken, gleich Stromspulen, ganz entsprechend Ampère's Vorstellung vom Magnetismus. Mit so erlangter Kenntnis gelang es Faraday auch eine von Arago vor 7 Jahren entdeckte, aber unerklärt gebliebene, mit dem Namen Rotations-Magnetismus bezeichnete Erscheinungsgruppe unmittelbar verständlich zu machen. Dabei leitete er mit Schleiffedern zum ersten Mal dauernde Ströme, durch Induktion erzeugt, aus Kupferscheiben ab, die er zwischen Magnetpolen rotieren ließ. Endlich gab er in derselben, ersten Veröffentlichung über Induktion auch das allgemeine Gesetz bekannt, nach welchem diese Erscheinung erfolgt, in Zusammenfassung aller der verschiedenen von ihm beobachteten Fälle. Es kommt dabei auf die Schnitte magnetischer Kraftlinien mit Leitern an, und diese ganz neuartige Grundvorstellung hat auch bei allen weiteren beobachteten Formen der Induktion sich bewährt.

Die magnetischen Kraftlinien waren dabei in solcher und noch viel weiter gehender wesentlicher Bedeutung ebenfalls erst von Faraday neu eingeführt worden; man kannte sie bis dahin nur als die Linien, in welchen Eisenfeile an Magnetpolen sich anordnet. Für Faraday wurden sie bald das Wesentlichste an den Magneten sowohl, als auch an elektrischen Strömen, als Abbildungen der Zustände im Raum um Magneten und Ströme und überall, wo magnetische Kräfte vorhanden sind, — wo ein „Magnetfeld" ist, wie der heute geläufig gewordene Ausdruck lautet. Nichts hat sich wichtiger und fruchtbringender gezeigt, in jeder Beziehung beim immer weiteren Vordringen in die von Faraday hiermit erschlossenen großen Gebiete der elektromagnetischen Erscheinungen bis heute, als die Kraftlinien-Vorstellung. Zugleich zeigte sie auch den Weg, einige Jahrzehnte später den Induktions-Vorgang zum Stromerzeugungsmittel in größtem Maßstabe werden zu lassen; denn jede Erscheinung, deren Gesetzmäßigkeit genügend erkannt und auf quantitativ Faßbares zurückgeführt ist, steht auch zur Herausbildung in beliebigem Maßstabe bereit. So hat Faraday selbst den Weg gezeigt, von dem von ihm zuerst wahrgenommenen schwachen Zucken der Galvanometernadel bis zu den 36 Jahre späteren „Dynamomaschinen" und noch weiter hinaus; er ist der Entdecker der Naturvorgänge, die der heutigen Starkstromtechnik ihre besonderen Möglichkeiten geben.

Schon im Januar des folgenden Jahres, 1832, hatte Faraday wieder neue Formen der Induktion hervorgebracht und studiert: die

„Erdinduktion" und die „unipolare Induktion". Erstere, hervorgebracht durch Kraftlinienschnitte von bewegten Leitern im Magnetfeld der Erde, ist in der Folge — in Wilhelm Weber's Händen — besonders wichtig geworden zum feinsten Ausbau der hierher gehörigen Kenntnisse, bis zur Begründung des heute gebräuchlichen elektrischen Maß-Systemes.

Alsdann ließ Faraday diese Untersuchungen einige Zeit ruhen, so daß die wieder außerordentlich wichtige Entdeckung der „Selbstinduktion" erst drei Jahre später hinzukam. Unterdessen beschäftigten ihn Arbeiten über die „Identität aller Elektrizitäten", worin er eingehend nachwies, daß Elektrizitäten aller bekannten Quellen, einschließlich auch der Induktion, in allen Wirkungen einander gleich sind, was zu gründlicher Beruhigung in Bezug auf die Fülle der allmählich aufgehäuften Kenntnis allerdings erforderlich war[1]). Hierbei führte Faraday zum ersten Mal auch Messungen von Elektrizitätsmengen mit dem Galvanometer aus, wobei er beispielsweise nachwies, daß die durch eine bestimmte Zahl von Umdrehungen einer Elektrisiermaschine gelieferte Elektrizitätsmenge, aufgehäuft in kleiner oder großer Kapazität, also bei hoher oder geringer Spannung, und dann durch das Galvanometer entladen, stets denselben Nadelausschlag hervorbringt. Es ist dies die Grundlage der Messung von Elektrizitätsmengen mit dem „ballistischen" Galvanometer, zugleich aber auch der Nachweis, daß mit dem Galvanometer gemessene „Stromstärken" in der Tat Elektrizitätsmengen in der Zeiteinheit, durch das Galvanometer strömend, bedeuten, wie es der von Ampère eingeführten Vorstellung entspricht.

Außerdem fallen in diese Zeit Faraday's tiefgehende Untersuchungen über die chemischen Wirkungen der elektrischen Ströme, wobei er nach Davy und Berzelius wieder einen großen Schritt weiter tut, indem er durch umfassende quantitative Forschung die auch heute noch unter seinem Namen bekannten beiden Gesetze der chemischen Stromwirkung feststellt. Bei dieser Gelegenheit führt er auch die heute allgemein gebräuchlichen Namen „Elektrolyse", „Elektrolyt", „Elektroden", „Anode", „Kathode", „Jon" ein, und er untersucht auch schon die so oft an den Elektroden eintretenden sekundären chemischen Reaktionen. Auf das erste der beiden Gesetze gründet er sein „Voltameter", das Stromstärken durch Knallgasmengen mißt. Das zweite Gesetz, welches chemische „Wertigkeit" und Jonenladung in Zusammenhang bringt, hat sich als ebenso grundlegend wichtig gezeigt, wie Dalton's und Gay-Lussac's Forschungen über Gewichts- und Volum-Verhältnisse bei den chemischen Bindungen, und es hat außer-

[1]) Schon Davy hatte sich um solche Fragen bemüht, und es war ihm gelungen, die Gleichheit der chemischen Wirkungen bei „Reibungs"- und „Volta"-Elektrizität nachzuweisen.



Michael Faraday

vortragend; mit dem „schweren Glas", das
ihm zwei Entdeckungen gebracht hatte.

Nach dieser Reihe von außerordentlichen Erfolgen war eine Zeit der Erschöpfung für Faraday eingetreten. Die Erfolge waren nicht ohne harte Arbeit errungen; denn kamen ihm auch die Gedanken reichlich und mühelos, so war doch die Durchführung in ungezählten Versuchen, mit steter Abänderung der Gedanken bis zur überzeugenden Darstellung des Tatsächlichen — die eigentliche Arbeit des Naturforschers — um so mehr eine an die Grenzen des Möglichen gehende Leistung, je weiter ins Unbekannte die Gedanken geführt hatten. Häufige Ausflüge nach der Seeküste, wo er nur ruhig sitzen und in die Ferne zu schauen vermochte, brachten einige Erholung; aber erst eine schließlich unternommene Reise mit längerem Aufenthalt in den Alpen, im damals noch ruhigen Interlaken und dessen Umgebung, führten zur vollständigen Wiederherstellung und zu einer Folge neuer Entdeckungen und wichtiger Arbeiten in der Zeit von seinem 53. bis etwa zum 65. Lebensjahre.

In diese Zeit fällt seine Entdeckung der magnetischen Drehung der Polarisationsebene. Es ist bemerkenswert, daß dieser Entdeckung Hunderte von vergeblichen Versuchen mit allerlei Kristallen und anderen Stoffen vorausgingen, ohne daß Faraday vom Gedanken abließ, irgendeine Wirkung des Feldes der elektrischen oder der magnetischen Kraftlinien auf das Licht suchen zu sollen. „Es ist zu versuchen; wer weiß, was möglich ist?" war gelegentlich sein Ausspruch; und doch war ein tiefer Gedanke dahinter, dem er nur nicht allzusehr trauen mochte: Ein und derselbe Äther für die elektromagnetischen Kräfte und für das Licht. Der erste Erfolg kam, als er ein Stück des schweren Flintglases ins Magnetfeld brachte, das er bei seinen früheren Glasschmelz-Versuchen hergestellt hatte. Der Erfolg war ein erstes Zeichen für Richtigkeit jenes Gedankens.

Auch bei der dann folgenden Entdeckung des Diamagnetismus und des Magnetismus aller Materie brachte eben dieses Glas den ersten Erfolg, da es ganz entgegen dem Verhalten von Eisen und eisenhaltigen Stoffen aus dem Magnetfeld herausgelenkt wurde. Hieran knüpfte sich dann die Untersuchung vieler Stoffe in den stärksten Magnetfeldern, die Faraday hervorbringen konnte, wobei sie alle entweder als magnetisch oder als diamagnetisch wie Faraday's Glas oder wie Wismut sich zeigten[1]).

Der Lauf der Magnetkraftlinien um Ströme und Magneten, ihre Induktionswirkung und die Messung von Magnetfeldstärken durch diese Wirkung beschäftigten Faraday in den letzten Jahren seiner Arbeit.

[1]) Es fand sich, daß zerstreute Beobachtungen über Abstoßung von Wismut von Magnetpolen schon vorher veröffentlicht waren; doch hat niemand vor Faraday den Gegenstand umfassend behandelt und dadurch zu allgemeiner Wichtigkeit gebracht.

Dazu gehörten auch Gedanken und Versuche über einen etwaigen Zusammenhang von Gravitation und Elektrizität, über die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen und magnetischen Kräfte und über etwaige Wellenlängenänderung an einer Lichtquelle (Kochsalzflamme) im Magnetfeld. Er kam über die letztgenannten Dinge zu keiner Entscheidung mehr. Jedoch seine Frage, ob nicht der Äther, der das Licht trage, etwa auch die elektrischen und magnetischen Kräfte vermittle, ist später von Maxwell, gestützt auf das von Faraday schon Erreichte, und auf ein wichtiges Ergebnis von Wilhelm Weber, mit positiver Beantwortung versehen worden, zunächst vermutungsweise in Form seiner Gleichungen, was für H. Hertz den Weg zur experimentellen Bestätigung und damit zur Auffindung der elektromagnetischen Wellen bereitete. Auch der Gedanke eines Einflusses von Magnetfeldern auf Lichtquellen hat sich später, nach Einführung sehr verfeinerter Beobachtungsmittel bewährt[1]) und ist nicht minder wichtig geworden für alle weitere Kenntnis-Entwickelung bis in die Gegenwart hinein.

Im Jahre 1858 hatte Faraday die „Royal Institution" verlassen und ein ihm von der Königin geschenktes Haus außerhalb Londons bezogen. Er begann stark über zunehmende Gedächtnisschwäche zu klagen, konnte jedoch noch fast 10 Jahre in seiner bescheidenen Weise des Lebens sich freuen. Er starb 76 Jahre alt.

Bei Faraday war in seltener Weise größter Stolz mit höchster Bescheidenheit vereint, und diese Charakterbeschaffenheit ruhte ganz auf tief religiöser Grundlage, die er aber verborgen hielt. Er war dauernd der kleinen, auch damals kaum bekannt gewesenen Gemeinschaft der Sandemanianer treu geblieben, in der er geboren war und deren Grundgedanke ein einfaches Festhalten an Christi Lehre war, mit Ausdeutung derselben durch Laienprediger aus dem Kreise der Gemeinde selbst. Wie tief er alles auffaßte, was in den Bereich seiner Gedanken kam, möge seine Definition der Freundschaft zeigen, die er — in Abwechslung mit Mitteilungen über chemische Versuche — zur Zeit als er noch Buchbinderlehrling war, in einem seiner Briefe gegeben hat: Freund sei Der — sagt er —, Dem man nächst seinem Gott dienen will. Solche ernste Auffassung hat er sich in jeder Beziehung — Menschen und der Wissenschaft gegenüber — durch sein ganzes Leben bewahrt. Enttäuschungen im Menschengetriebe konnten dabei nicht ausbleiben, und schon Davy bereitete ihn darauf vor, indem er lächelte, als Faraday ihm einst äußerte: er denke, daß Naturforscher von höheren sittlichen Gefühlen beseelt seien als andere Menschen. Faraday wußte sich den Schwierigkeiten zu entziehen, die ihm auf so einsamer Höhe des Denkens und Emp-

[1]) „Zeeman-Effekt."

findens, die er nicht verlassen wollte, unter dem Durchschnitt der Menschen begegnet wären: Er vermied sein Leben lang Tätigkeiten und Zugehörigkeiten, in die er — wie er war — nicht hätte passen können. So glaubte er die Präsidentschaft der „Royal Society", als sie ihm angeboten wurde, aufs Bestimmteste ablehnen zu müssen[1]), und ebenso war er der Erhebung in den Adelsstand abgeneigt; er wollte „einfach Michael Faraday bleiben", was allerdings nicht hinderte, daß der Hof ihn mit Vorzug behandelte. Es ist gewiß kein gutes Zeichen für die Umwelt, daß Faraday in solchen Beziehungen sich für ungeeignet erklären mußte; — Newton, der nicht etwa weltgewandter und keineswegs weniger tief veranlagt war, hatte das zu seiner Zeit nicht für nötig gefunden, wenn ihm auch Manches peinlich geworden ist. Indessen, Faraday's Wunsch nach möglichster Zurückgezogenheit stimmt, ebenso wie seine Ablehnung einträglicher Tätigkeiten, auch ohne weiteres mit seiner Absicht überein, ganz der Wissenschaft gewidmet zu bleiben. Dazu war ihm das Laboratorium der „Royal Institution" für seine Forschungen wie geschaffen; sein Gehilfe dabei war allein nur ein alter Soldat. Daneben hielt er im großen Hörsal dieser Anstalt seine Experimental-Vorlesungen für Zuhörerschaft aus allen Kreisen — auch hierin Davy's großer Nachfolger —, und zur Weihnachtszeit fügte er regelmäßig noch einige besondere Vorlesungen für die Jugend ein[2]). So war Faraday bei aller Zurückgezogenheit doch eine in allen Kreisen Londons gut bekannte und viel verehrte Persönlichkeit, und seine Entdeckungen brachten ihm auch viel Anerkennung von fern her. Alle solche Zuneigung, die ihm entgegenkam, erwiderte er mit größter Herzlichkeit und zugleich Bescheidenheit; jedoch wäre es irrig zu denken, daß nicht auch gelegentlich, wenn er meinte mit Minderwertigkeit zusammenzutreffen, seine feurige Natur und sein Gefühl für richtige Einschätzung der Menschen merklich wurde. So sagt er beispielsweise in einem vertraulichen Briefe (aus dem Jahre 1853), daß er den Gehorsam, die Anhänglichkeit und den Instinkt eines Hundes bei weitem der durchschnittlichen Torheit der Menschen vorziehe. Es war in mehrfacher Beziehung die Vereinigung ausgeprägtester und dabei dem Nichtverstehenden entgegengesetzt erscheinender Eigenschaften, die diesen selten reichen Geist auszeichnete. So war er, wie er einmal selber versicherte, von Jugend auf stets sehr ge-

[1]) Diese Ablehnung hatte für Faraday in späteren Jahren eine merkwürdige Folge, die unter seiner Präsidentschaft sicherlich nicht eingetreten wäre: es wurde ihm eine seiner Arbeiten von der „Royal Society" zurückgewiesen! Sie ist dann erst aus dem Nachlaß veröffentlicht worden („Life and Letters", vol. II, p. 411—418).

[2]) Von diesen Vorlesungen ist besonders eine, als ein unvergängliches Vorbild, später auch im Druck erschienen: „The chemical history of a Candle" (auch in deutscher Übersetzung: „Die Naturgeschichte einer Kerze", Berlin 1884).

neigt, das Unglaublichste für annehmbar zu halten, jedoch: eine einzige durch Beobachtung festgestellte Tatsache genügte ihm zum Sturz noch so schöner Gedankengebäude, und bei aller Lust, selbst solche aufzurichten, war ihm oberste und unbedingte Richtschnur in jeder Beziehung die Wahrheit, die Übereinstimmung mit der Wirklichkeit. So kennzeichnet er auch in einer seiner Experimental-Untersuchungen gelegentlich den Naturforscher, wie er vonnöten sei: „Eifrig, doch vorsichtig, Experiment mit Analogie verknüpfend, mißtrauisch gegen vorgefaßte Vorstellungen, höher eine Tatsache achtend als eine Theorie, nicht zu eilig im Verallgemeinern und vor allem bereit, bei jedem Schritt die eigenen Meinungen neu zu prüfen sowohl durch Überlegung als durch Beobachtung"[1]). Er entsprach dem selbst in vollendetster Weise, und wie er als Naturforscher war, so war er überhaupt und in Allem; große Geister sind nie zwiespältig gewesen[2]).

Zu seinem Begräbnis wünschte er nur seine Verwandten und einige allernächste Angehörige gegenwärtig, und sein „Grabstein sollte von der gewöhnlichsten Art sein und auf dem einfachsten Erdenplatz stehen", was auch befolgt wurde.

Wilhelm Weber

(1804—1890.)

Er ist der Begründer des heute allgemein gebräuchlichen elektrischen Maßsystems, und er wurde es durch erstmalige umfassende und äußerst verfeinerte quantitative Durchforschung der von Oersted bis Faraday neu entdeckten Kenntnisgebiete, im übrigen anknüpfend an das von Gauß bereits für die magnetischen Größen Geleistete. Er ersann dazu neue, verfeinerte Hilfsmittel verschiedener Art, wie das Elektrodynamometer und den Erdinduktor, und führte unermüdlich Messungen von bis dahin unerreichter Genauigkeit aus, die all das neu Entdeckte innerlich so in festen Zusammenhang brachten, daß keine Lücke mehr blieb, und daß man mit den kaum erst begrifflich festgelegten, beziehlich eben erst meßbar gewordenen Größen, wie elektrische Stromstärke, induzierte elektromotorische Kraft, elektrische Kapazität, nun verläßlich zahlenmäßig zu rechnen beginnen konnte, wie es etwa seit Newton mit Kräften, Geschwindigkeiten und Massen der Fall war. Dabei ergab sich für Weber auch selber eine neue Entdeckung, was dem gründlichen und hingebungsvollen Forscher nie ausbleiben kann. Er fand,

[1]) „Experimental Researches in electricity", London 1839, vol. I, p. 360, Nr. 1161.

[2]) An Körpergröße galt Faraday im damaligen England nicht über mittel; sein in der Jugend braunes Haar wurde früh grau und weiß, ohne ihm ein gealtertes Aussehen zu geben (Bild 50); die Augenfarbe war blau.

indem er die beiden Gesetze von Coulomb für elektrische und für magnetische Kräfte miteinander in Verbindung brachte — was mittels des von Oersted entdeckten Zusammenhanges möglich war —, daß in dieser Verbindung eine Geschwindigkeit eine Rolle spielt, die er in einer schwierigen Experimentaluntersuchung sorgfältig ermittelte und gleich der seit Römer bekannten Lichtgeschwindigkeit fand. Hier trat zum ersten Mal in scharf faßbarer Weise die Lichtgeschwindigkeit — eine für den Äther der Lichtwellen so charakteristische Größe — im Gebiet rein elektro-magnetischer Erscheinungen maßgebend auf. Man durfte das als ein besonderes Zeichen des Zutreffens von Faraday's Vorstellung ansehen, daß die elektro-magnetischen Kräfte wohl mit demselben Äther zu tun haben wie das Licht, welcher Gedanke später, besonders gestützt durch Weber's Forschungen, von Maxwell eingehend bearbeitet wurde, was dann, wie schon angegeben, mit Hasenöhrl zur Erkenntnis führte, daß die Kraftlinien Verteilungen der allwichtigen Energie im Äther sind.

Die Lichtgeschwindigkeit war übrigens auch schon in anderer Beziehung — ebenfalls in Zusammenhang mit Weber's Tätigkeit — als elektrisch maßgebende Größe aufgetreten, nämlich als die Geschwindigkeit der Ausbreitung elektrischer Spannung an Telegraphen-Leitungen. Der elektromagnetische Telegraph war durch Gauß und Weber im Jahre 1833 eingeführt worden[1]) und hatte sich bald weiter verbreitet, was Anlaß gab, die besagte Geschwindigkeit (mittels Drehspiegels) zu messen; sie fand sich nahe gleich der Lichtgeschwindigkeit, was ebenfalls für spätere Schlüsse wichtig wurde[2]).

[1]) Telegraphie durch Lichtzeichen gab es schon lange vorher. Ziemlich alt waren auch schon Gedanken und Versuche zu elektrischer Telegraphie; schon bald nachdem Gray die Fortleitungsmöglichkeit der Elektrizität entdeckt hatte, begann man damit, und jede neu entdeckte elektrische Wirkung, so besonders auch die chemische Stromwirkung, gab neuen Anlaß zu Entwürfen, die aber jedesmal fast so viele Drähte benutzen wollten, als Buchstaben im Alphabet sind und die deshalb alle nicht zur Anwendung kamen. Gauß und Weber waren jedenfalls die Ersten, die elektrische Telegraphie mit nur zwei Drähten zur praktischen Ausführung brachten, indem sie zwischen Sternwarte und physikalischem Institut in Göttingen mittels Magnetablenkungen sich verständigten, wobei sie die Ströme durch Induktion erzeugten, so daß gar keine weitere Stromquelle erforderlich war. Sehr bald (zuerst in Bayern) lernte man auch mit nur einem Draht auszukommen, indem man die Rückleitung durch die Erde besorgen ließ. Gauß und Weber haben es gänzlich verschmäht, etwa Vorteile von ihrem Anteil an der Einführung der elektrischen Telegraphie genießen zu wollen.

[2]) Die ersten Messungen dieser Art hat Ch. Wheatstone ausgeführt, bekannt von seiner Widerstands-Meßbrücke (die er selbst allerdings einem Vorgänger zuschreibt) und von der ersten Verwirklichung des dynamo-elektrischen Prinzips für die Induktionsmaschinen, ehe es Siemens im Großen zur Ausführung brachte. Er lebte 1802—1875, meist in London. (Vgl. R. Appleyard, „Pioneers of Electrical Communication", London 1930, und W. Siemens, „Lebenserinnerungen", 4. Aufl. S. 253).

Weber war auch der Erste, der die durch Faraday's zweites Gesetz der Elektrolyse und durch Davy's und Berzelius' Gedanken über die chemischen Kräfte schon gegebene Vorstellung von bestimmten kleinsten Teilen der Elektrizität — elektrischen Elementarquanten — ganz allgemein durchzuführen versuchte. Hierbei schreibt er diesen Teilen neben der bestimmten Ladung zum ersten Mal auch schon eine bestimmte Masse (Trägheit) zu, und er entwickelt im Wesentlichen auch schon diejenigen Vorstellungen von der Elektrizitätsleitung in Metallen, die mehr als 30 Jahre später wie von neuem eingeführt wurden, als die im Anschluß an das Studium der Kathodenstrahlen gewonnenen Erfahrungen es nahelegten. Dabei bringt Weber auch schon die Erscheinungen des Diamagnetismus zum Verständnis.

Wilhelm Weber wurde als fünftes Kind eines Theologen in Wittenberg geboren, dessen Vater Landwirt gewesen war. Er studierte in Halle Naturwissenschaften und wurde dort Privatdozent, dann außerordentlicher Professor. Im Jahre 1831 wurde er auf Anregung von Gauß als ordentlicher Professor der Physik nach Göttingen berufen. Er war dann dort Mitarbeiter bei Gauß' magnetischen Untersuchungen. In die Zeit der fortgesetzten Zusammenarbeit mit Gauß fällt ein Ereignis, das Weber's Lebensumstände stark beeinflußte; er gehörte zu den berühmten Göttinger Sieben. König Ernst August von Hannover hob im Jahre 1837 die schon beschworene parlamentarische Staatsverfassung eigenmächtig und einseitig wieder auf, wogegen Weber und sechs seiner Göttinger Kollegen eine Erklärung kundgaben[1]), deren Folge die Amtsentsetzung der Sieben war. Nun war Weber 5 Jahre lang ohne Amt und festes Einkommen. Es wurde in

[1]) Zur Stimmung gegen den Fürsten hatten sicherlich auch Äußerungen von ihm wie die bei großer Tafel in Gegenwart von W. v. Humboldt getane beigetragen: daß deutsche Professoren gar kein Vaterland hätten und nicht besser als Tänzerinnen seien, die dorthin gingen, wo man ihnen einige Groschen mehr biete. — Es gehörten zu den Sieben auch die Brüder Grimm, nicht jedoch Gauß. Letzteres versteht sich wohl daraus, daß Gauß von „konstitutionellen" Regierungen mit Mehrheitsbeschlüssen äußerst wenig hielt, da er von Verstand und Sittlichkeit der großen Menge eine sehr geringe Meinung hatte, weshalb er auch „Revolutions"-Wühler stets mit großem Mißtrauen betrachtete (vgl. „Gauß" von Sartorius von Waltershausen, S. 94). Gauß hat mit dieser Einsicht wohl eine Sonderstellung eingenommen; doch hat er offenbar wie die Sieben nach innerer Überzeugung gehandelt. Weber's Denkweise dürfte mit der von Jakob Grimm übereingestimmt haben (s. des Letzteren Darlegung in den „Kleineren Schriften", Herausgabe von 1911, Hyperionverlag Berlin S. 28ff.). Wo sind heute auch nur die wenigen Professoren, wie Gauß oder wie die Göttinger Sieben, die nach mehr als nur bestenfalls ihren Fachbedürfnissen ihre Entschlüsse einrichten? („Professor" bedeutete ursprünglich „Bekenner"!)

ganz Deutschland eine Sammlung zu Gunsten der Sieben eingeleitet, die für Weber 1400 Taler ergab[1]). Diese Spende glaubte Weber jedoch nicht in Gebrauch nehmen zu sollen, sondern er ließ sie aufbewahren und lebte und wohnte äußerst bescheiden in einem kleinen Zimmerchen. Die zunächst nicht umfangreichen Hilfsmittel für seine Arbeiten erhielt er von Gauß.

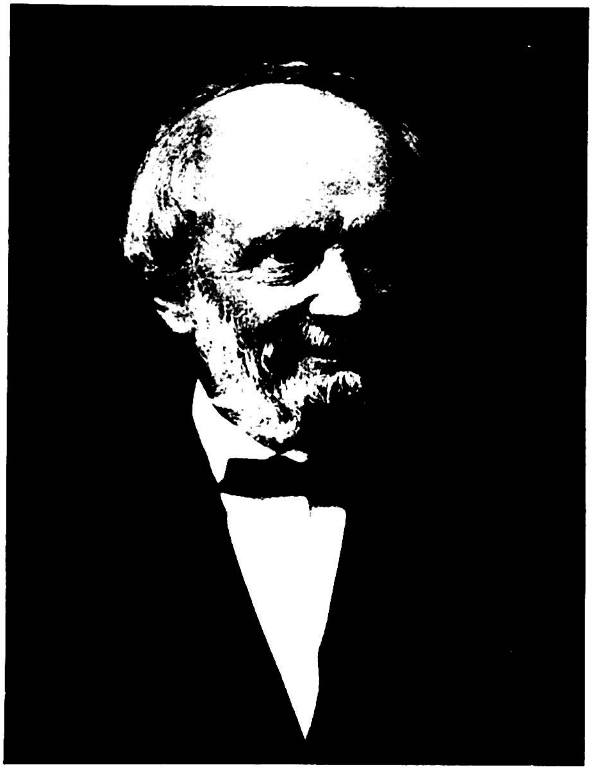


Bild 51. Wilhelm Weber.

Diese Arbeiten betrafen zunächst die Festlegung einer absoluten Einheit für die Stromstärke. Weber gründete diese Einheit auf die magnetischen Wirkungen der Ströme, wonach der Strom Eins derjenige wurde, von dem die Länge Eins auf den von Gauß schon festgelegten Magnetpol Eins im senkrechten Abstand Eins die Kraft Eins ausübt. Die Verwirklichung dieses Gedankens geschah mittels der Tangentenbussole, wozu jedoch Weber dieses Instrument samt der zugehörigen

[1]) Dies war fast der doppelte Jahresgehalt von Weber.

Rechnungsweise erst aufs Äußerste verfeinern mußte[1]). Um den so verwirklichten Einheit-Strom in einfacher Weise für alle Zeiten festzuhalten, wandte Weber — gestützt auf Faraday's erstes Gesetz der Elektrolyse — das Voltameter an. Die von Weber getroffene Wahl der Stromeinheit (jetzt „Ampere" genannt) sowie auch ihre Festhaltungsweise sind auch heute noch gültig[2]).

Im Jahre 1843 erhielt Weber einen Ruf an die Universität Leipzig, wo dann sein Elektro-Dynamometer entstand, beruhend auf Ampère's Entdeckung der Kraftwirkungen von Strömen auf Ströme und geeignet, diese Wirkungen aufs feinste messend zu verfolgen und zu benutzen.

Sechs Jahre später wurde Weber wieder zurück nach Göttingen berufen, wo er dann sein ganzes übriges Leben lang blieb. Hier begannen die Untersuchungen, die zur Festlegung der absoluten Einheit der elektrischen Spannung oder elektromotorischen Kraft führten (heute „Volt" genannt), wobei Weber auf Faraday's Induktionsgesetz sich stützte, indem er mittels Anschluß an Gauß' Erdmagnetfeld-Messungen die Induktion durch die Erde benutzte. Sein Erdinduktor, mit dem er in umfassendster Weise quantitative Untersuchungen ausführte, wurde seither eines der wichtigsten Hilfsmittel im elektro-magnetischen Meßwesen.

Aus den somit festgelegten Einheiten für Stromstärken und für Spannungen konnte Weber mittels Ohm's Gesetz auch sogleich die absolute Widerstandseinheit herleiten (heute „Ohm" genannt), welche zur Verwirklichung und Aufbewahrung in Gestalt von Drähten oder viel besser noch mittels der von Werner Siemens seit 1860 zur Anwendung gebrachten Quecksilberfäden („Siemens-Einheit") besonders geeignet ist, und auf die daher eine große Zahl von Weber's spätesten Messungen sich beziehen. Da die hierzu erforderlichen Mittel immer

[1]) Hierbei hat sich auch erst das Gesetz scharf prüfen lassen, nach welchem die Wirkung von Strömen beliebiger Länge und Form auf Magnetpole in beliebigen Lagen berechenbar ist. Dieses Gesetz wird gewöhnlich unter den Namen von Biot und Savart genannt. Diese Forscher haben jedoch nur geradlinige Ströme untersucht (s. Lehrbuch der Experimentalphysik von Biot, deutsch von Fechner, 1829, Bd. IV, S. 158ff); Ampère nahm zum Vergleiche zickzackförmig gebogene Leiter hinzu, und eine Bemerkung von Laplace ergab die Verallgemeinerung auf „Stromelemente" (kurze Stromstücke) in beliebiger Lage zum Magnetpol. Die Kreisströme in der Tangentenbussole lieferten dann den am besten exakt nachprüfbaren Fall.

[2]) Die später verfeinerte Durchführung, entsprechend einer auch mit heutigen Mitteln noch nicht wesentlich übertroffenen Meßgenauigkeit, erfolgte im Jahre 1881 (und wiederholt 1886) durch Friedrich Kohlrausch (lebte 1840—1910, zuletzt Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin); er legte die Silberabscheidung für 1 Ampere in 1 Sek. fest.

größer wurden, die Staatsleitung aber daran sparen zu müssen glaubte, kam hier zum ersten Mal auch jene Spende zur Verwendung, die Weber bei seiner Amtsentsetzung empfangen hatte. Weber erlebte die volle Durchführung aller von ihm geplanten Verfeinerungen zur Festlegung der elektrischen Einheiten trotz des hohen Alters von 86 Jahren, das ihm beschieden war, nicht mehr; doch wurde das von ihm Begonnene stetig, zu allermeist in Deutschland selbst fortgesetzt mit dem Ergebnis der heutigen, alles Wünschenswerte bietenden Sicherheit im elektrischen Meßwesen.

Noch zu Weber's Lebenszeit, im Jahre 1881, gab es einen „Kongreß" in Paris, um eine „internationale" Annahme des von Gauß und Weber begründeten Systems der Einheiten zu bewirken[1]). In der Hauptsache handelte es sich dabei um Festsetzung von Vervielfältigungszahlen für die absoluten Einheiten, um sie auf eine praktisch passende Größe zu bringen, und um Festsetzung von kurzen Namen für die Einheiten. Vervielfältigungszahlen waren notwendig, weil die Einheiten sämtlich allein nur mittels Naturgesetzen aus den drei Grundeinheiten für Raum, Masse und Zeit, ohne jede Rücksicht auf Größenlage abgeleitet waren. So wäre beispielsweise die absolute Einheit der Spannung viel zu klein gewesen für den gewöhnlichen Gebrauch, so daß man ihr 100 000 000faches zur praktischen Einheit machte und Volt nannte. Für alles dies — auch für die Festsetzung der Grundeinheiten (ob z. B. cm oder mm als Längeneinheit gelten solle) — war in der Tat eine Einigung für die verschiedenen Länder notwendig, und solche Einigung kann niemals ohne gewisse Willkür stattfinden. Verwundern kann es nur, daß bei der Benennung der Einheiten die Namen der Urheber des ganzen Einheits-Systems — Gauß und Weber — gänzlich unbenutzt blieben, und die Verwunderung ist damals auch sogleich merkbar geworden — selbstverständlich besonders in Gauß' und Weber's Heimatland —; sie ist bis heute noch nicht zum Stillstand gekommen[2]).

[1]) Von Deutschland aus war besonders Helmholtz bei diesem Kongreß wirksam; er gewann um so mehr Einfluß, als er den an Ort und Stelle, in Paris, vorhandenen Wünschen offenbar entgegenkommend sich zeigte. Weber war eingeladen zum Kongreß, indessen bei seinem Alter von 77 Jahren war seine Absage fast selbstverständlich. Über das Äußerliche des Kongreß-Verlaufes ist berichtet in der elektro-technischen Zeitschrift für 1881, S. 390 ff. (auch S. 285 u. 326).

[2]) Vgl. z. B. Wüllner in seinem früher viel gebrauchten „Lehrbuch der Physik", IV. Auflage 1886, Bd. IV, S. 922; Werner von Siemens „Lebenserinnerungen", IV. Auflage 1897, S. 281; „Deutsche Physik", Bd. III, Anhang. — Es wurde als Entschuldigungsgrund für die Umgehung von Weber's Namen angeführt, daß bereits eine „Weber'sche" Stromeinheit in Gebrauch sei, die 10mal kleiner als die vom Kongreß gewählte ist, und daß deshalb Verwirrung zu befürchten sei. Diese Entschuldigung ist aber nicht stich-

Weber war von äußerst anspruchslosem, kindlich-heiterem, zufriedenem Wesen, jedoch von unbeugsam aufrechter, streng charakterfester Denkweise, die ihn auch gelegentlich scharf werden ließ, und mit der er, wo es ihm erforderlich schien, auch öffentlich hervortrat, obgleich er das im Allgemeinen scheute. Sein Vertrauen zu Menschen ging leicht viel zu weit, was wohl auch die zu seiner Zeit stark hervortretenden „Spiritisten" auszunutzen verstanden[1]). Seine Güte und Freundlichkeit machte am allerwenigsten dort Halt, wo er etwa selbst dabei in den Hintergrund kam; dementsprechend wird auch von ihm kein Zeichen der Mißstimmung über das Verhalten des Pariser Einheits-Kongresses — ja überhaupt keine Äußerung darüber — berichtet[2]). An den Schicksalen des Deutschen Volkes und allen damit zusammenhängenden Ereignissen nahm Weber steten Anteil; so wurde das Zustandekommen der Reichseinheit im Jahre 1870 von ihm mit großer Freude begrüßt. Er war klein von Gestalt, dem Ansehen nach nicht sehr kräftig, doch war er bis in sein hohes Alter ein eifriger und ausdauernder Fußwanderer. Mit seinen Brüdern pflegte er engen Zusammenhalt; verheiratet war er nie; der Haushalt wurde ihm von einer Nichte besorgt[3]). Er starb 86 Jahre alt.

haltig; denn erstens war die besagte kleinere Einheit in Deutschland zwar als „Weber'sche Einheit" bekannt, jedoch noch nirgends in tatsächlichen Gebrauch gekommen (es fehlten noch in fester Einheit graduierte Strommesser!), und zweitens war in England — wo der technische Gebrauch elektrischer Ströme damals voran war — eben die größere, vom Kongreß angenommene Einheit sogar schon unter dem Namen „Weber" in Gebrauch genommen worden! Daß Weber noch am Leben war, während Ampère, dessen Namen man an Stelle von „Weber" setzte, schon vollendet hatte — was ein für damals stillschweigend etwa einzusehender Grund hätte sein können —, ist merkwürdigerweise auch später niemals geltend gemacht worden. Neuerdings ist der Ausweg in Benutzung genommen worden, zur Bezeichnung der Stromeinheit einfach statt „Ampere" nach Belieben auch „Weber" zu sagen, was Niemanden verwirren kann. — „Gauß" ist (ebenfalls ohne Kongreß) seit einiger Zeit zur Bezeichnung der absoluten Einheit der Magnetfeld-Stärke eingeführt worden.

1) Hierin stand Weber übrigens durchaus nicht allein; es fand sich ein ganzer Kreis schon älterer Professoren, deren Augen und Ohren Taschenspieler-Kunststücken wohl nicht gewachsen waren und deren Menschenkenntnis nicht zureichte. Auch in England war es im Allgemeinen nicht anders, wie das Beispiel von Crookes zeigt; jedoch Faraday lehnte wiederholt die tischrückenden „Geister" auf das entschiedenste ab, wenn sie ihn zu sich laden wollten. Da der Mensch selbst Geist hat, kann sich ihm die Geisterwelt genügend ohne „Medien" und deren doch immer an Taschenspielerkunststücke erinnernde, schlecht kontrollierbare Tätigkeit offenbaren.

2) Zurücksetzung ist allerdings in Webers damals schon hohem Alter verhältnismäßig leicht zu ertragen, weil sie nicht mehr Arbeitsmöglichkeiten raubend wirken kann.

3) Man sehe zu alldem „W. Weber, eine Lebensskizze" von seinem Neffen Heinrich Weber (Deutsche Verlagsanstalt Stuttgart, 1892), dem ich auch wertvolle briefliche Mitteilungen verdanke.

Julius Robert Mayer
(1814—1878),

James Prescott Joule
(1818—1889),

Hermann Helmholtz
(1821—1894).

Julius Robert Mayer, der bescheidene praktische Arzt im damals kleinen Städtchen Heilbronn am Neckar, war der Entdecker und erste Verkünder des Gesetzes von der Erhaltung der Energie. Ihm war die zusammenfassende Einsicht gekommen, daß neben Galilei's und Newton's Bewegungsgesetzen noch ein anderes, umfassendes Gesetz in der Natur gültig ist, dessen Erfassung eine neue Klärung gerade der bisher dunkelst gebliebenen Stellen schon erforschter Gebiete bedeutete, ja einer großartigen Vereinigung zusammenhanglos und sogar widerspruchsvoll erscheinender Kenntnisse gleichkam. Heute kann das Energiegesetz sogar als das oberste bekannte Naturgesetz bezeichnet werden, insofern es für alle Erscheinungen der Materie sowie auch des Äthers gilt — in der unbelebten, wie in der belebten Welt — und als irgendwelche Grenzen seiner Gültigkeit in all den nun fast 100 Jahren seiner Anwendung überhaupt nicht einmal andeutungsweise merklich geworden sind. Energie, d. i. die Fähigkeit Arbeit zu leisten, ist in allem Naturgeschehen eine quantitativ unveränderliche Größe; sie nimmt verschiedene Formen an, ändert aber niemals ihre Menge; nur Zufuhr oder Abfuhr von Energie kann den Energieinhalt eines gegebenen Raumteils ändern. Dies ist der einfache Sinn des Energiegesetzes[1]).

Mayer verkündete seine neue Erkenntnis in gedrängter Kürze im Jahre 1842 in „Liebigs Annalen", einer gut verbreiteten, wissenschaftlichen Zeitschrift, wo auch das Kernstück, die Berechnung des mechanischen Wärme-Äquivalents, schon mitgeteilt wurde, und dann eingehend in einer besonderen, im Jahre 1845 erschienenen Schrift. Er hatte das alles schwer zu büßen. Man muß bis zu Galilei zurückgehen, um ein genügend verwandtes Schicksal des Leidens um neuerfaßter, tiefgehender Gedanken willen aufzufinden. Wie aber niemals zwei Schicksalsfälle einander ganz gleich sind, so ist auch hier ein Unterschied vorhanden: Galilei war von dunklen, der Naturforschung feindlichen Mächten bekämpft; Mayer's Schicksal lag innerhalb der Wissenschaft selbst. Er wurde von den vielen als Vertreter von Naturwissenschaft Berufenen nicht verstanden, von den wenigen Verstehenden, die den Gegenstand

[1]) Die große Allgemeinwichtigkeit des Energiegesetzes habe ich im Vorwort (S. 11) hervorgehoben bei der Erinnerung an die Gegebenheit eines Jahrhundertgedenkens von Mayers Wirken.

alsbald miterfaßt hatten, aber nicht geliebt. Es kam so weit, daß, als endlich die neuen Gedanken sich zu verbreiten begannen, Mayer sie ganz unter fremden Namen gehend fand[1]), und zwar nicht nur im Ausland, sondern besonders auch in Deutschland selbst. Dies fand schließlich auch in den Tageszeitungen statt, so daß Mayer, der ein sehr beliebter Arzt in seiner Heimatstadt war, auch dort bald sonderbar angesehen wurde, gleich Jemandem, der tut, als hätte er die Entdeckungen Anderer gemacht. Er wandte sich daher — nachdem er von Herausgebern deutscher gelehrter Zeitschriften wiederholt abgewiesen worden war, auch schon an die Pariser Akademie ohne wesentlichen Erfolg geschrieben hatte — an eine deutsche Tageszeitung, die in Gelehrtenkreisen viel herumkam und die er für gediegen hielt, um aufzuklären und seine Entdeckung unter seinem Namen besser bekannt zu machen. Sein Beitrag wurde auch aufgenommen; jedoch es erschien bald in derselben Zeitung ein Mayer samt seiner Entdeckung als lächerlich und unwissenschaftlich hinstellender, mit anscheinender Überlegenheit geschriebener Artikel[2]). Wiederholt wandte sich nun Mayer an die bei einem angesehenen Stuttgarter und Tübinger Verlag erscheinende Zeitung, um eine der Wahrheit entsprechende Berichtigung durchzusetzen; jedoch erfolglos. In dieser Weise auch durch andere ähnliche Erlebnisse schon über 5 Jahre lang gequält, war Mayer in einen Zustand zunehmender Erregung geraten; endlich, an einem heißen Maimorgen des Jahres 1850 sprang er nach schlaflos hingebrachter Nacht plötzlich aus dem Bett zum offenen Fenster hinaus. Der Erdboden lag 9 Meter tiefer, und Mayer trug eine schwere Beinverletzung davon, die nur sehr allmählich in Wildbad zur Heilung kam. Die Leiden waren aber damit lange noch nicht zu Ende. Sie steigerten sich sogar noch in einer für die Vertreter der Wissenschaft sowie auch des Ärztestandes sehr unrühmlichen Weise; doch berichten wir darüber weiter unten im Lebenslauf, um vorerst das Werk zu erörtern.

---

[1]) Es wären hier außer Joule und Helmholtz noch einige Namen zu nennen, die aber später ganz zurücktraten.

[2]) Der Artikel war von einem Doktor der Philosophie gezeichnet. Derselbe Doktor wurde bald danach von der Universität Tübingen als Privatdozent aufgenommen. Ein anderer Privatdozent dagegen (Eugen Dühring in Berlin), der in einer nach dem Urteil von Wilhelm Weber preisgekrönten „Kritischen Geschichte der Prinzipien der Mechanik" (1872) Mayers Verdienste wohl zum erstenmal in historischem Zusammenhang eingehend hervorgehoben hatte, wurde von der Universität verjagt, als er in der zweiten Auflage dieses Werkes (1876) scharfe Worte eingefügt und in einer anderen Schrift auch sonst Schäden der Universitäten aufgedeckt hatte. Alles dies zeigt, wie wenig Robert Mayer sowohl bei der Universität seiner Heimat, als auch bei der der Reichshauptstadt (wo Helmholtz damals Vertreter der Physik war) zu seiner Lebenszeit galt.

Wenn man heute Robert Mayer's drei Hauptschriften[1]) liest, so kann man immer wieder von Neuem erstaunt sein über den Reichtum des Inhaltes; sie bieten in der Hauptsache schon Alles, was grundlegend zum Energiegesetz gehört, und besonders mag man auch staunen, darin Vieles zu finden, was bis heute noch ziemlich allgemein mehr seinen Nachfolgern als ihm zugeschrieben wird[2]). Die erste Schrift (1842) bringt die Grundgedanken zur Entdeckung in gedrängter Kürze, wobei eine auf bestimmte Tatsachen eingehende Begründung fehlt[3]), jedoch die Berechnungsweise des mechanischen Wärmeäquivalentes und dessen genügend angenäherter Zahlenwert bereits mitgeteilt werden; die zweite (1845) stellt Alles in großer Ausführlichkeit dar und bringt außerdem zum Schluß viel Anwendungen auf die belebte Natur; die dritte Schrift wendet das Energiegesetz auf die Vorgänge im Himmelsraum an.

Der Inhalt dieser Schriften zeigt, daß Mayer der Erste war, dem (beginnend schon im Jahre 1842) in umfassendem Zusammenhang alles das klar wurde, was allmählich, im Laufe der Kenntnis-Entwicklung, einer Reihe von Forschern in Bruchstücken oder in Gestalt von Fragen zwar als grundlegend wichtig, aber doch als noch unergründet entgegengetreten war. Schon bei Galilei, Huygens, Leibniz tauchen Fragen

---

[1]) „Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur", 1842; „Die organische Bewegung im Zusammenhang mit dem Stoffwechsel", 1845; „Beiträge zur Dynamik des Himmels", 1848.

[2]) So ist beispielsweise der für die Fixstern-Temperaturen immer mehr wichtig gewordene Gedanke, daß Schrumpfung unter dem Einfluß von Kräften die Entstehung einer neuen Wärmemenge zur Folge haben müsse, schon in der Schrift von 1845 klar ausgesprochen (2. Teil des Abschnittes 3 dort). Später (in der Schrift von 1848) hat Mayer den Fall von Meteormassen in die Sonne für die Erhaltung der Sonnen-Temperatur in den Vordergrund gestellt, ohne aber dadurch den anderen Gedanken aufzuheben.

[3]) Die von Mayer dort und auch sonst gebrauchten Wendungen, wie „ex nihilo nil fit", „nil fit ad nihilum", „causa aequat effectum" („aus Nichts wird nichts", „nichts wird zu Nichts", „Ursache gleich Wirkung"), sind nicht als Beweisgründe oder vorangestellte „Axiome" aufzufassen (was öfter tadelnd gedacht worden ist), sondern als hingeworfene, humorvoll erklärende Erkenntnis-Zusammenfassungen. Mayer brauchte diese Wendungen auch sonst gern, im Gespräch, und sein Humor wird viel gerühmt. Man kann diese Aussprüche auch — mit Mach („Die Mechanik in ihrer Entwickelung" 2. Aufl., 1889, S. 487) — werten als Zeichen „eines gewaltigen, instinktiven, noch unbefriedigten Bedürfnisses nach einer substanziellen Auffassung dessen, was wir heute Energie nennen", in welcher Äußerungsweise „Mayer sich gar nicht anders verhielt als Galilei, Black, Faraday und andere große Forscher". Die substanzielle Auffassung der Energie ist in der Tat in jüngster Zeit als vollkommen durchführbar erwiesen worden (vgl. die Bemerkungen zu Hasenöhrl am Schlusse des Buches und „Deutsche Physik", Bde. I—IV). Der Humor großer Geister ist immer bedeutungsvoll; er wird nur immer erst viel später verstanden.

in Bezug auf mechanische Arbeitsleistungen der Schwerkraft und anderer Kräfte auf, und Huygens erkennt zuerst die Bedeutung des Produktes Masse mal Geschwindigkeitsquadrat (jetzt mit dem Faktor $^1/_2$ „lebendige Kraft" oder „kinetische Energie" genannt) bei Bewegungserscheinungen, z. B. beim elastischen Stoß, wo die Summe der Produkte bei aller Verwickeltheit der Bewegungsvorgänge unverändert erhalten bleibt. Dann kamen die großen Schwierigkeiten der Frage „was ist Wärme?", die durch Graf Rumford's und Davy's Versuche beleuchtet wurden, wo Wärme entstand, ohne irgendwo verschwunden zu sein, während ihre Menge sonst — bei den vielen kalorimetrischen Messungen — so unveränderlich sich gezeigt hatte, wie die eines Stoffes. Als weiter die Erscheinungen der elektrischen Ströme hinzukamen, war auch die Wärme des elektrischen Bogens und der erglühenden Stromdrähte rätselhaft; denn es trat dafür nirgends Kälte auf, ausgenommen nur in dem einen, von Peltier im Jahre 1834 nachgewiesenen Falle der Thermoelemente. Volta's Elemente betreffend, hatte hierzu Faraday — wie vorher auch Carnot — schon bemerkt, daß sie bei allen Leistungen irgendwelcher Art sich erschöpfen, wofür durch Faraday's elektrolytische Untersuchungen auch schon die mit dem Stromdurchgang unzertrennlich verbundenen chemischen Veränderungen in den Elementen als vermutliche Ursache angezeigt waren. Alles dies und noch sehr vieles Andere, was fraglich oder vereinzelt dastehend geblieben war, bringt Mayer in erstaunlicher Weise plötzlich in großartige Verbindung. Er bemerkt die Grund-Wichtigkeit der Frage „Was ist Wärme?", und er beantwortet die Frage, indem er sagt: „Die Wärme ist eine Kraft; sie läßt sich in mechanischen Effekt verwandeln"[1]). Dabei sieht er, wie

[1]) Wir sagen heute in dem von Mayer gemeinten und auch schon 1842 erläuterten Sinne statt „Kraft" oder „Effekt" lieber „Energie", welcher Ausdruck erst später eingeführt worden ist (auch Helmholtz benutzte noch den Ausdruck „Erhaltung der Kraft"). „Energie" ist aufgespeicherte Arbeit, und da Arbeit durch das Produkt aus der arbeitenden Kraft mit dem dabei in Richtung dieser Kraft zurückgelegten Weg gemessen wird, Arbeit also etwas Anderes ist als nur die in Newton's Sinn definierte Kraft allein (was schon Leonardo erkannte), ist es nicht angängig, für „Arbeit" „Kraft" zu sagen. Mayer war sich hierüber übrigens vollständig klar (wie seine Veröffentlichung „Bemerkungen über das mechanische Äquivalent der Wärme" vom Jahre 1851 besonders eingehend zeigt); nur dachte er, daß man sich entschließen könnte, Newton's Definition von „Kraft" aufzugeben. Letzteres erfolgte glücklicherweise nicht; sondern es war klar geworden, daß man für den von Mayer neu eingeführten Begriff der Arbeitsaufspeicherung — wobei Arbeit wie ein in der Menge unveränderlicher Stoff erscheint — auch einen neuen Namen nötig hat, und als solcher hat sich „Energie" eingeführt. Man sieht auch hieraus wieder die große Neuheit von Mayer's Leistung; sie erforderte mit ihrer neuen Begriffsbildung auch einen neuen Wortausdruck. Daß der Begriff früher da war als das Wort, ist ein Zeichen der Gediegenheit des damaligen Fortschreitens, ganz im

Wärme in der Dampfmaschine in mechanische Arbeit sich verwandelt, so daß eine gewisse Kalorienzahl verschwindet, während dafür eine andere gewisse Zahl von Meterkilogrammen Arbeit zum Vorschein kommt. Er sieht auch, wie jenes Produkt — Masse mal Geschwindigkeitsquadrat — dann ebenfalls eine Arbeitsgröße bedeutet; denn es entsteht Geschwindigkeit nur unter Arbeitsaufwand, und wenn das Produkt abnimmt, kommt irgend eine Form der Arbeitsleistung zum Vorschein, wie Hebung bei nach aufwärts geworfenem Körper oder beim Pendel, und auch hier kann Wärme diese Arbeitsform sein, wie wenn ein bewegter Körper durch Reibung zur Ruhe kommt, oder beim unelastischen Stoß, wo das Produkt auch abnimmt, erfahrungsgemäß aber Erwärmungen eintreten, die beim elastischen Stoß fehlen. Ferner sieht er ein, daß gleichwie mechanische Trennung sich anziehender Körper, z. B. das Heben eines Gewichtes, eine Arbeitsaufhäufung bedeutet, so auch von chemischer Trennung dasselbe gilt: „Das chemisch-getrennte Vorhandensein" z. B. von Kohle und Sauerstoff oder von Chlor und Wasserstoff ist auch „eine Kraft" („Energieform" wie wir heute besser sagen), und unter Verschwinden dieser Energieform, nämlich des Getrenntseins, entsteht wieder Wärme z. B. im Kohlefeuer. So erscheint für Mayer zum ersten Mal die altbekannte Wärmeentstehung bei chemischen Vorgängen, die man erst als Freiwerden eines chemischen Bestandteiles (des „Wärmestoffes") angesehen hatte, dann aber — als sich zeigte, daß dies nicht zutreffen kann — überhaupt nicht weiter zu erklären vermochte, unter einem ganz neuen Gesichtspunkt erfaßt und dadurch mit vielem Anderen in neue, wichtige Zusammenhänge gebracht. So wird es auch klar, daß die Wärmewirkungen der elektrischen Ströme auf Kosten von verbrauchter chemischer Energie der Volta'schen Elemente entstehen. Auch die in elektrisch geladenen Körpern enthaltenen Arbeitsvorräte, die in Anziehungs- und Abstoßungs-Erscheinungen, in Funken- und Wärme-Wirkungen bei der Entladung sich zeigen, können nur unter Arbeitsaufwand hergestellt werden — wie Robert Mayer zum ersten Mal klar macht —: denn es kommt dabei in jedem Falle auf die Trennung der beiden entgegengesetzten Elektrizitäten an, und diese kann — weil sie sich anziehen — nie anders als unter Arbeitsleistung erreicht werden, gleichgültig ob dies im Elektrophor durch Influenz oder in der Reibelektrisiermaschine oder in Volta's Weise durch Berührung von Leitern erster Klasse geschieht.

So kommt Mayer zur Aufstellung der fünf verschiedenen Energieformen, mit welchen man auch heute noch rechnet: I. Poten-

Gegensatz zu vielen sonstigen Fällen, wo das von Mephisto so verschmitzt empfohlene Umgekehrte gilt: „denn eben wo Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein . . ." (Faust I., 4. Szene).

tielle Energie (Energie der Lage), 2. kinetische Energie (Energie der Bewegung), 3. Wärme, 4. elektromagnetische Energie, 5. chemische Energie[1]). „Bei allen physikalischen und chemischen Vorgängen bleibt die gegebene Kraft (Energie) eine konstante Größe". Nur die Form der Energie verwandelt sich; ihre Menge bleibt ungeändert. „Es gibt in Wahrheit nur eine einzige Kraft (Energie). In ewigem Wechsel kreist dieselbe in der toten wie in der lebenden Natur. Dort und hier kein Vorgang ohne Formveränderung der Kraft (Energie)". Mayer zählt dann 25 treffliche Beispiele von Energie-Umwandlungen, beziehlich Energie-Wanderungen bei unveränderter Energie-Menge auf, die nach der vorhergegangenen, ebenfalls eindrucksvollen Aufzählung der Energie-Formen Niemanden, der auch nur einen Blick in diese Abhandlung getan hatte und durch eigenes Denken einigermaßen vorbereitet war, im geringsten im Zweifel lassen konnten über Sinn und Umfang von Mayer's Erkenntnis-Leistung.

Hieran schließt Mayer noch umfangreiche Erörterungen über die Energieverhältnisse in der belebten Natur, was ihm als Arzt besonders naheliegen mußte[2]). Er geht hier wieder von höchsten Gesichtspunkten aus, indem er mit der Energie der Sonne beginnt, die in Gestalt des Lichtes zur Erde strömt und hier außer Erwärmung und Hebung des Wassers in die Wolken auch noch die chemische Energie der Pflanzen und dadurch auch die der Tiere liefert. Wichtig ist es auch, daß er klar und bestimmt die Erkenntnis ausspricht, daß bei der Muskelarbeit eine unmittelbare Umwandlung der chemischen Energie der Nahrungsmittel in mechanische (potentielle oder kinetische) Energie stattfindet ohne den Umweg über die Wärme, den die Dampfmaschine einschlägt.

Es ist selbstverständlich, daß dieses gewaltige Gedankengebäude, das dieser einfache Arzt im Laufe einiger Jahre bei sich herausgebildet hatte, zunächst nur Hypothese (Vermutung) sein konnte, und daß erst nach vielen und quantitativen Vergleichungen mit der Wirklichkeit der allmähliche Übergang zu bewährter Kenntnis eintreten konnte. Dieser Übergang — zu dem alsbald Joule sehr viel beitrug — ist heute vollzogen, und er hat an Mayer's Gebäude fast gar nichts Wesentliches geändert[3]). Jedoch schon von vornherein besaß das Gebäude, wie es

[1]) Mayer's Benennungen sind nur wenig anders (vgl. die vorige Anmerkung), und er erläutert den Sinn der von ihm gebrauchten Bezeichnungen aufs Unzweideutigste.

[2]) Schon der Titel der Veröffentlichung stellt diesen Teil des Inhalts in den Vordergrund, nachdem die vorangegangene, erste Veröffentlichung auf die „Kräfte der unbelebten Natur" sich beschränkt hatte.

[3]) Als nachträgliche Verbesserung wäre etwa die Mayer zuerst entgangene Einführung des Faktors $^1/_2$ im Ausdruck für die kinetische Energie zu nennen.

Mayer hinstellt, vollkommen den Anblick des Naturwahren; denn es wirkte erleuchtend auf so viele Naturvorgänge, die bis dahin dunkel geblieben waren; es gab eine so große Zusammenfassung von Kenntnis, wie es beim Nichtzutreffen irgend eines Hauptteiles gar nicht hätte möglich sein können. So wie für den Gedankenbau von Newton's „Principia" alle von den hervorragendsten, ihm vorangegangenen Forschern ergründeten Naturerkenntnisse den Erfahrungsbeweis in Fülle lieferten, so war es auch für Mayer's Gedankenbau mit den Erkenntnissen der oben schon genannten alten Forscher. Jedoch Mayer hatte auch selbst schon besondere Vergleichungen mit der Erfahrung vorgenommen, und er ist dabei quantitativ vorgegangen. Er berechnet die Anzahl Meterkilogramme (potentieller Energie), die aus 1 Kalorie Wärme bei Umwandlung entstehen — das mechanische Wärmeäquivalent —, indem er die vorhandenen Messungen der spezifischen Wärmen der Luft bei konstantem Druck und bei konstantem Volum in ganz neuartiger Weise benutzt. Die alte, von Dalton erfaßte, von Gay-Lussac und von Laplace weiter gefestigte Kenntnis, daß Luft kalt wird, wenn sie gegen äußeren Druck sich dehnt, faßt Mayer so auf, daß die verschwundene Wärme sich verwandelt hat in die Arbeit, die bei der Dehnung gegen den äußeren Druck geleistet wird, und er begründet die einwandfreie Zulässigkeit dieser Auffassung damit, daß ein Gas bei Dehnung ins Vakuum — d.i. ohne Arbeitsleistung — keine Erkaltung zeigt, was von Gay-Lussac schon im Jahre 1807 nachgewiesen worden war, so daß in der Tat Arbeitsleistung und Wärmeverbrauch hier aufs engste miteinander verknüpft sind[1]). Da die Zahlenangaben für die in Betracht kommenden Wärmemengen sowie für die Volumänderung bei gegebenem Druck schon vorhanden waren, kann Mayer ohne neuen Versuch — nur mittels eines Gedankenversuches — das Äquivalent berechnen. Er findet mit den damaligen Zahlen schon ziemlich nahe den heute genauer bekannten Wert, 427 mkg für 1 Kalorie. Er bemerkt auch, daß andere Gase nach vorhandenen Messungen denselben Wert wie Luft ergeben und daß dies eine Bestätigung seiner Auffassung ist. Außerdem stellt er selbst einen Versuch an, bei welchem umgekehrt Arbeit in Wärme verwandelt wird, indem er in einer Papierfabrik die Temperaturanstiege des Papierbreies mißt, der unter Aufwand von 5 Pferdestärken gerührt wird, und die entstehende Wärmemenge bei Berücksich-

[1]) Unter den vielen, auch in langer Zeit noch schwer auszurottenden, Mayer abweisenden Behauptungen für sehr sachkundig zu haltender Persönlichkeiten war auch die, daß seine Berechnung des Wärmeäquivalentes nicht einwandfrei sei. Diese Behauptung ignorierte Gay-Lussac's oben erwähnte Erkenntnis und Mayer's ausdrückliche Berufung auf dieselbe (vgl. Weyrauch, „Mechanik der Wärme", S. 226 u. 316).

tigung der Verluste mit seinem Äquivalent in Übereinstimmung findet[1]). Man sieht, daß Mayer im ganzen reichlich genug Erfahrung beibringt. Schon allein nur die Erfahrung der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile, die schon so oft zu wichtigen Schlüssen benutzt worden war, gehört mit ihrem ganzen Gewicht hierher; sie steht hier sogar im Mittelpunkt des Ganzen; sie gibt die Versicherung, daß bei keinem bekannten Vorgang Vermehrung der Energie eintritt. Der lange bestandene Anschein, daß dagegen wohl Verminderung stattfinden könne, wie bei jedem Reibungsvorgang, ist durch Mayer als trügerisch erwiesen, indem er zeigt, daß in solchen Fällen ein Übergang in Wärme stattfindet, die ebenfalls eine Energieform ist. Hierdurch war die völlige Unveränderlichkeit der Gesamtmenge der Energie klargestellt, und deshalb war vor allem die Klärung der Wärme-Vorgänge notwendig, um überhaupt zur Vorstellung von der Energie-Erhaltung vordringen zu können. Auch diese Klärung hat Mayer vollbracht, und zwar mit quantitativem Anhalt, indem er das mechanische Wärmeäquivalent berechnete. Alles dies ist von Denjenigen, die danach Mayer's Gedankenkreis weiter ausbauten, und von deren Beurteilern, die Mayer zurücksetzten, übersehen worden, wie es überhaupt vielfach vorkommt, daß bei einmal eröffnetem Eingangstor der Zugang als etwas Selbstverständliches genommen wird, als wäre das Tor niemals verschlossen gewesen und als wäre seine Auffindung und Eröffnung nicht die Leistung gewesen, nach welcher alles Weitere zunächst fast mit reinem Vergnügen erfolgen kann.

Warum war es Mayer vorbehalten, den Eingang zu finden, zu erkennen, zu eröffnen und sogleich ihn auch selbst so reichlich zur Umschau auf dem neuen Boden zu benutzen? Warum ihm allein (und nur noch im Verborgenen und unverkündet dem jung entschwundenen Carnot), so daß alle Anderen erst nachfolgten, mögen sie auch vorher schon ähnliche, aber doch nicht bis zu dieser Vollendung gebrachte Gedanken gehabt haben? Es muß doch ohne Zweifel die besondere Geistesbeschaffenheit von Mayer gewesen sein, die ihn dazu befähigte, und es muß eine sehr seltene Geistesbeschaffenheit gewesen sein; denn die Gedanken, auf die es ankam, lagen schon seit Rumford, d. i. mehr als 40 Jahre lang „in der Luft", insofern als die Tatsachen, an die sie in der Hauptsache zu knüpfen waren, so lange schon bekannt waren[2])

[1]) Feiner ausgeführte Versuche hielt Mayer ausdrücklich für wünschenswert; doch schien ihm für ihn selbst die weitere Ausübung seines ärztlichen Berufes das Gegebene zu sein (vgl. Weyrauch a. a. O. S. 149).

[2]) Die zuletzt hinzugekommenen elektrischen Erscheinungen gaben keinen weiteren, bestimmten Anstoß; sie schienen bei nicht sehr eingehender Betrachtung im Gegenteil eher noch der Möglichkeit eines Perpetuum mobile wieder neuen Raum zu geben, etwa in Gestalt eines durch Volta'sche Elemente betriebenen elektromagnetischen Motors. Noch im Jahre 1841 hatte die Schweizer

Diese bei Mayer vorhandene, seltene Geistesbeschaffenheit war durch seine Vorbildung unbeschädigt erhalten geblieben; denn die Vorbildung bestand besonders darin, daß er niemals wesentlichen Schul- oder Hochschul-Unterricht in Physik oder Mathematik genossen hatte, so daß er in ursprünglicher Unbefangenheit auf seine eigenen Gedankenwege angewiesen geblieben war und Bücher nicht zu Examenszwecken, sondern nur zur Entnahme von Tatsachen-Kenntnis benutzt hatte. Eben solche seltene Geistesbeschaffenheit ist aber auch die Hauptursache der Verkennung und damit der oft schweren Erdenschicksale von deren Trägern. Was der großen Menge der Menschen nicht gleicht und daher auch in der Äußerungsweise dem Herkömmlichen nicht angepaßt erscheint, wird nicht leicht verstanden, wird gern umgangen oder gar für verdächtig gehalten. Sicherlich ist Mayer's erste Schrift in Liebigs Annalen (1842) genügend herumgekommen; doch ist kaum zu bezweifeln, daß die Hauptmenge der Leser und besonders die der Forschung Fernerstehenden die Wichtigkeit des Inhaltes — auch schon wegen der Kürze im Verhältnis zum Reichtum — nicht erkannt haben dürften. Ebensowenig ist aber zu bezweifeln, daß alle, die selbst schon in Gedanken mit den seit 40 Jahren vorliegenden Fragen beschäftigt waren, bei Durchsicht der Schrift sofort oder nach einigem Besinnen in den Besitz so gut wie voller Einsicht in das Wesentliche der neuen Gedankengänge versetzt worden sein mußten. An diesen Wenigen, die den Gegenstand dann weiterbearbeiteten und die Gedanken weiterverbreiteten, lag es, ob Mayer als erster Urheber alsbald anerkannt werden sollte, was nach Erscheinen der zweiten, ganz aus-

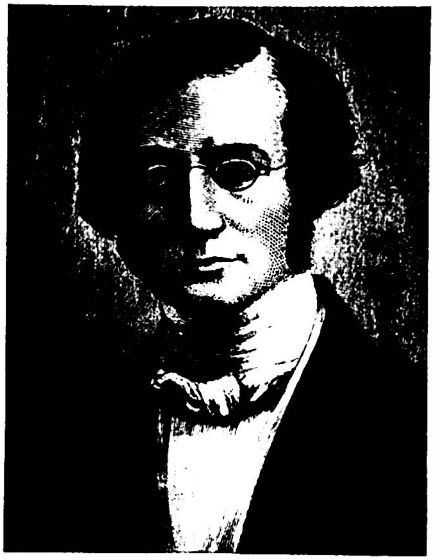


Bild 52. J. R. Mayer.
Bildnis aus dem Jahre 1842.

Regierung einen großen Preis für eine billig zu betreibende elektrische Lokomotive ausgeboten (man dachte sogar daran, daß die chemischen Umsetzungen in den Elementen wertvolle Nebenprodukte liefern könnten), was dann 1844 zurückgezogen wurde (vgl. Rosenberger, „Geschichte der Physik", III., S. 279, 1887).

führlichen Veröffentlichung (1845), der auch Niemand mit Gleichwertigem zuvorgekommen war, nur selbstverständlich hätte sein dürfen, oder ob nicht. Sie haben versagt[1]). Nur ein Einziger ist dabei auszunehmen: Tyndall, Faraday's Nachfolger an der „Royal Institution" in London[2]); ihm vor allem ist es zu verdanken, daß Mayer zuletzt noch einige Jahre allgemeiner öffentlicher Anerkennung zuteil wurden.



Bild 53. John Tyndall.

[1]) Helmholtz wäre als Berichterstatter der „Physikalischen Gesellschaft" in Berlin am besten in der Lage gewesen, in den „Fortschritten der Physik" außer sehr eingehend über seine eigene Schrift von 1847 auch über Robert Mayer's frühere Schriften etwas zu berichten. Er erwähnt aber Mayer nur so kurz, daß man danach meinen mußte, dieser habe nichts Wesentliches veröffentlicht. Erst später (1852 und danach) gab Helmholtz öffentlich allmählich Einiges zu, was doch schon begonnen hatte, weiteren Kreisen bekannt zu werden. (Man vgl. hierzu die in Weyrauch's historischer Bearbeitung „Die Mechanik der Wärme", Stuttgart 1893, auf S. 226—228 und 316 zusammengestellten Tatsachen, sowie desselben Verfassers Gedenkwerk „Robert Mayer", Stuttgart 1915, S. 67 ff., und Wilhelm Ostwald, „Große Männer", Leipzig 1909 S. 272—274.)

Joule's erste hierher gehörige Veröffentlichung war vom Jahre 1843. Für ihn, als Urheber des Gedankens der Äquivalenz von Wärme und Arbeit, und damit gegen Robert Mayer, trat auch William Thomson (Lord Kelvin) auf, jedoch mit dem ausdrücklichen Hinweis, daß er es tue, weil Joule sein Landsmann sei. Hierdurch konnte nicht so viel Verwirrung entstehen, und es ist auch zu berücksichtigen, daß Joule's Arbeiten vor Thomson's Eintreten für dieselben in England überhaupt nicht gewürdigt wurden.

[2]) Wir setzten deshalb Tyndall's Bildnis neben das Robert Mayer's. Tyndall war in mancher Beziehung ähnlich Alexander v. Humboldt, nur — was das Äußerliche betrifft — in gewissermaßen bescheiden verkleinerter Fassung; er war ein höchst wirksamer Vertreter und Verbreiter höchster Auffassung von Wissenschaft und Forschung. Seine Vorlesungen an der „Royal Institution", die großenteils auch im Druck erschienen, auch in deutschen Übersetzungen, geben ein ebenso lebhaftes wie gediegenes Bild des damaligen Kenntnisstandes der Naturforschung. In einer dieser Vorlesungen vor großer Zuhörerschaft aus allen Kreisen (auch Faraday war zugegen), im Jahre 1862, hatte er in seiner fesselnden Weise über die Energie und ihre Umwandlungen

Julius Robert Mayer war dritter Sohn des Apothekers „Zur Rose" in Heilbronn; er zeigte frühzeitig lebhaften Geist und empfänglichen Sinn und fand dafür viel Nahrung im Elternhause, wo es viele physikalische und chemische Apparate, naturgeschichtliche Sammlungen, sowie Bücher aller Arten gab. Er trieb sich als Knabe viel im Freien umher, durchstreifte Mühlen und Fabriken der Umgebung, für deren Mechanismen er schnelle Fassungsgabe zeigte. Die damals wohl allgemein erörterte Frage der Möglichkeit des Perpetuum mobile, die er im Elternhaus besprechen hörte, gab ihm früh viel zu denken. Im Gymnasium galt er nicht als besserer Schüler; doch gehörten alte Klassiker sowie auch Goethes Faust bis an sein Lebensende zu seinen Lieblingsbüchern. Nach beendeter Schulzeit studierte Mayer in Tübingen Medizin, worauf er zur Vervollständigung seiner Ausbildung noch die Kliniken in München, Wien und Paris aufsuchte; Hochschulvorlesungen über Physik, die ihn befriedigt hätten, bot ihm seine Studienzeit nicht. Seine selbständige medizinische Tätigkeit begann Mayer als Schiffsarzt auf einem holländischen Ostindienfahrer mit nur 28 Personen Besatzung, deren gute Gesundheit ihm jedoch wenig zu schaffen gab. Fahrgäste hatte das kleine Schiff auch nicht, so daß Mayer während der ganzen, von

gesprochen, worauf er zum Schlusse seine Zuhörer mit der Bemerkung überraschte: Alles was er vorgebracht, sei ganz selbständig ausgearbeitet worden durch einen deutschen Arzt, Dr. Robert Mayer in Heilbronn, dessen Name ihnen wahrscheinlich unbekannt sei. Er fügte bei: „Wenn wir die äußeren Bedingungen von Robert Mayer's Leben, und die Zeit in welcher er arbeitete, bedenken, so müssen wir staunen über das, was er vollbracht hat. Dieser geniale Mann arbeitete ganz in der Stille; nur von der Liebe zu seinem Gegenstande erfüllt, gelangte er zu den wichtigsten Ergebnissen, allen Anderen voraus, deren ganzes Leben der Naturforschung gewidmet war". Man nahm dies Tyndall in England übel und er wurde öffentlich zur Rede gestellt; jedoch die Gegner verstummten nach Tyndall's letzter Äußerung hierzu (1864): „Zu erlauben, daß Dr. Mayer in der Lage bleibe, in welcher ich ihn gefunden hatte, dies würde die Schuld jener Vernachlässigung an mich heften, von der nur die Berufung auf Unwissenheit seine Zeitgenossen befreien könnte. In jedem Satz, den ich zu seinen Gunsten geschrieben hatte, fühlte ich die Kräfte, die nur ein vollkommen einzigartiger Geist zu bieten vermag, und ohne Befürchtung für sein und mein Schicksal überlasse ich nun seinen Ruf, sowie mein Verhalten dazu einem gerechten Urteil der Menschheit." (Siehe dazu Weyrauch, „Mechanik der Wärme" S. 338—342, auch „Kleinere Schriften" S. 363 u. ff., wo auch ersichtlich ist, daß Clausius es war, der Mayer's allzuwenig genannte Schriften Tyndall zugänglich gemacht hatte.

Tyndall war auch als Forscher tätig und war ein großer Naturfreund. Sein besonderes Entzücken waren die Höhen der Alpen in dieser nun schon sehr entschwundenen Zeit, da Technik und „Industrie" noch nicht an allen Naturheiligtümern sich vergriffen hatten, ja als der Gipfel des Matterhorns — Tyndall's Lieblingsziel — noch von keines Menschen Fuß erreicht war. Er war 1820 in Irland geboren, studienhalber auch in Deutschland gewesen, lebte bis 1893.

Februar 1840 bis Februar 1841 dauernden Reise, die nur einmal durch einen Aufenthalt auf Java unterbrochen war, mit seinen Gedanken fast allein war. Doch hatte er reichlich Bücher mitgenommen, und er „erfreute sich", wie er selbst schrieb, „einer harmlosen Gemütsruhe, die ihn zu wissenschaftlicher Beschäftigung vorzugsweise disponierte, und die ihn auch in Dürftigkeit und in Entfernung von jedem gleichgesinnten Wesen die Tage fröhlich durchleben ließ, von denen keiner sonder Interesse vorüberging". In der Tat machte alles großen Eindruck auf Mayer, was am Himmel, auf dem Wasser oder am Schiff zu beobachten war, wie sein Tagebuch berichtet, und von den Wissenschaften trat ihm hier, aus den Büchern, auch die Physik näher, nur daß es ihn gar nicht befriedigte, wie „der rote Faden" an tausend Stellen unterbrochen schien, so daß Wirkungen ohne Ursachen und Ursachen ohne Wirkungen vorgeführt wurden. Namentlich die Unerklärtheit der Reibungswärme beschäftigte ihn, ebenso aber auch der Ursprung der Wärme im lebenden Organismus. Auf Java hatte er wegen Erkrankung des Schiffsvolkes Aderlasse vorzunehmen, wobei das Blut eine erstaunlich hellrote Farbe zeigte, obgleich es nicht aus Schlagadern stammte, was unerklärlich schien. Dies war das große Ereignis in Mayer's Leben; von hier ab nahm alles, was er bisher überlegt hatte, neue Gestaltung in seinen Gedanken an; Ursachen und Wirkungen erschienen ihm wie plötzlich in eine früher nicht gekannte Verknüpfung zu treten. Er begann damals — im Herbst 1840 zu Surabaya auf Java — zum ersten Mal so zu denken, wie wir es heute im Sinne des Energiegesetzes gewohnt sind. Die ganze 121tägige Heimreise fand ihn offenbar bei keinen anderen Gedanken; denn das auf der Ausreise eingehend alle Ereignisse des Schiffes und des Wetters behandelnde Tagebuch schweigt nun vollständig, und schon wenige Monate nach der Rückkehr hat er eine erste Niederschrift über den Gegenstand fertig[1]). Er bearbeitete ihn aber auch unablässig weiter[2]), zu immer größerer Klarheit vordringend, bis zur Fassung von 1842, die als erste öffentliche Kundgebung seiner Gedanken in „Liebigs Annalen" erschien, und endlich zur eingehenden Darstellung von 1845, die den Höhepunkt seiner Naturforscherleistung bildet.

In demselben Jahr, nach der Heimkehr von der Reise, richtete sich Mayer in seiner Vaterstadt auch häuslich ein; er war schnell einer der angesehensten Ärzte dort geworden und hatte schon im Jahre 1842 die Tochter eines wohlhabenden Kaufmanns als Gattin heimgeführt. Die darauf folgende wohl glücklichste Zeit seines Lebens dauerte nicht

---

1) Er sandte sie an Poggendorff für die „Annalen der Physik", wo sie aber liegen blieb.

2) Man vgl. dazu die Briefe aus dieser Zeit (Weyrauch, „Kleinere Schriften und Briefe von J. R. Mayer", Stuttgart 1893).

lange. Es wurde schon oben von den traurigen Erfahrungen, die dann sich häuften, berichtet. Nach allen verläßlichen Nachrichten[1]) war es besonders die große geistige Vereinsamung, in der Mayer zu Hause sich befand, bei welcher die von allenthalben erfolgte Absprechung von Anerkennung, nicht zwar der Richtigkeit seiner Gedanken, wohl aber seiner Urheberschaft, ihn tief drückte. Er hoffte geistigen Trost, zusammen mit geeigneter körperlicher Pflege in einer Heilanstalt zu finden[2]). Die erste, die er aufsuchte, behagte ihm nicht; es wurde ihm eine andere geraten, deren junger Arzt Muße habe, ihm besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Der Rat war übel; der junge Arzt hatte sich eben auf Zwangsstuhl-Behandlung neu eingerichtet und wandte diese ausgiebig auf Mayer an. Der Versuch die Anstalt zu verlassen scheiterte an zeitweiliger Bewußtlosigkeit, die Mayer in seinem kraftlos gewordenen Zustand überfiel; er wurde in die Anstalt zurückgebracht und um so rücksichtsloser körperlich und geistig weitergequält. Den Oberamtsarzt, nach welchem er verlangte, bekam er nie zu sehen; ein „Hofrat", zu dem er geschleift wurde, billigte die Behandlung[3]), und erst nach 13 Monaten gelang es, Mayer's Befreiung zu erzwingen. Sein weiches, vertrauensvolles Gemüt, das Naturforscher- wie Ärzte-Kollegen so grausam enttäuscht hatten, war nun durch die letzten Erfahrungen gewandelt worden; sein unbeugsamer Wille kam jetzt obenan; er fühlte sich dem Schicksal gewachsen[4]). Nach einer Erholungsreise in die Schweiz konnte er seinen ärztlichen Beruf in Heilbronn wieder aufnehmen. Höchst empfindlich gegen verletzende und kränkende Äußerungen sei er immer geblieben, und es ist auch wohl zu denken, daß noch immer Gelegenheit dazu sich ergab; denn es verbreitete sich in Zeitungen, öffentlichen Vorträgen und zuletzt (1863) sogar in einem vielgebrauchten gelehrten Handwörterbuch eine Kunde, die am besten die völlige Gleichgültigkeit ganz Deutschlands

---

[1]) Siehe die Zusammenstellung von zeitgenössischen Berichten, sowie von eigenen Aufzeichnungen Robert Mayer's in Weyrauchs Ausgabe der „Mechanik der Wärme" (1893) S. 303—309, sowie den Bericht über Robert Mayer's Zusammenkunft — 25 Jahre nach der Irrenhausbehandlung — mit E. Dühring in dessen Werk „Robert Mayer, Der Galilei des 19. Jahrhunderts" (2. Auflage, Verlag O. R. Reisland, Leipzig, Teil I, S. 132—171).

[2]) Diese doppelte Hoffnung, der Mayer mit Selbstverständlichkeit sich hingab, bezeugt es gewiß, daß er seinen Kranken ein selten guter Arzt gewesen war.

[3]) Es geht aus den Äußerungen dieses Hofrates hervor, daß Mayer auf Größenwahn behandelt wurde, da man annahm, er maße sich eine Entdeckung an, die er nicht gemacht habe.

[4]) Es ist besonders zu bemerken, daß Mayer nach wie vor stets alles Verdienst seiner Zeitgenossen, wie Joule und Helmholtz, nicht nur gern und freudig anerkannte, sondern daß er darin bei mehreren Gelegenheiten sogar überschwenglich war. Nur — sagte er — wollte er „keine Geneigtheit ausgesprochen haben, von dokumentierten Eigentumsrechten abzugeben".



Julius Robert Mayer

Bildnis aus dem Jahre 1868.

dem noch lebenden Mayer gegenüber zeigt. Die Kunde war nicht auszurotten: Mayer sei im Irrenhause gestorben! Daß Tyndall's Eintreten für Mayer (1862) von London aus schließlich den Bann brach[1]), wurde bereits erwähnt. Das Alter brachte Mayer noch einige beschauliche Jahre; es überlebten ihn drei gut gediehene Kinder; er starb 64 Jahre alt. „Als wir sein Grab umstanden" — sagt sein Lebensschilderer[2]) — „beschlich uns ein bitteres Gefühl. Schwaben hat der Welt zwei Naturforscher vom ersten Range gegeben. Johannes Kepler starb infolge von Entbehrungen, als er seine Rechte auf dem Reichstag zu Regensburg geltend machen wollte. Robert Mayer wurde verkannt und verletzt, bis er körperlich und geistig gebrochen war. Ein Fremder entschied die verspätete Wandlung. Doch er ruhte nun; er war am Ziel".

Das Jahrhundert seit Mayer hat das Energiegesetz in aller Theorie und in aller Technik zu stets steigender Wichtigkeit gebracht. Nichts zeigt aber eindringlicher die Grundwichtigkeit von Mayers Energiebegriff, als die noch spät, seit Hasenöhrl hinzugekommene Erkenntnis, daß Energie weit mehr ist als nur Rechnungsgröße: Daß sie mit Masse (Trägheit) und Gewicht (Gravitation) begabter Naturgegenstand ist, der die ganze Welt umfaßt, wie wir es gegen Ende des Werkes erläutern. Außer der Energie ist nur noch Äther und Geisterwelt da, und der Äther erscheint als Zubehör der Energie. Es hat wohl kein Forscher Erkenntnisse begründet, die so tief ins Denken des Naturforschers eingreifen, so ganz den Anblick der Welt — das Ergebnis aller Naturforschung — bestimmen, wie Robert Mayers Gedanken es getan haben.

Würdig ist das prächtige Denkmal, das ihm seine Vaterstadt schon früh nach seinem Tode errichtet hat, ursprünglich im Mittelpunkt der Stadt, auf dem Markt stehend, unweit der väterlichen Apotheke, seit kurzem mehr ins Grüne versetzt. Aber weit entfernt vom Verstehen eines solchen Geistes ist immer noch die im Naturwissen so sehr unterrichtet gelassene Menschheit.

James Prescott Joule war ein eifriger Experimentator und umfassender Denker von höchsten Gesichtspunkten aus. Seine wichtigsten Arbeiten betreffen ganz die Frage nach der Natur der Wärme,

[1]) Auch der von der Berliner Universität verjagte E. Dühring hat später (1877) durch öffentliche Vorträge in Berlin das Seine dazu getan, die Zeitgenossen richtig aufzuklären. (Siehe E. Dühring, „Sache, Leben und Feinde", Verlag O. R. Reisland, Leipzig, Kapitel IX.)

[2]) Weyrauch, „Mechanik der Wärme".

die zur Zeit als er begann noch auf dem von Rumford erreichten Stande war. Besonders — was schon Davy als grundwichtig erkannt hatte — die Beachtung der Wärmeerzeugung durch elektrische Ströme lag ihm von Anfang nahe. Er untersuchte und fand als Erster das Gesetz der Stromwärme-Erzeugung — heute unter seinem Namen bekannt —, wonach die in einem Leiter in der Zeiteinheit auftretende Wärmemenge proportional ist dem Widerstand des Leiters und dem Quadrat der durch ihn gehenden Stromstärke. Seine Versuche hierzu waren einfacher Art. Die Stromstärke maß er mittels eines selbst gebauten sehr einfachen Galvanometers, dessen Ausschläge er durch ein Voltameter eichte; die Widerstände ermittelte er durch Zuschaltung eines zur Einheit genommenen Kupferwiderstandes mittels Strommessung unter Benutzung von Ohm's Gesetz. Die Wärmemengen maß er in einem einfachen Wasser-Kalorimeter; der feinste Teil seiner ganzen Zurüstung war ein sehr empfindliches Quecksilber-Thermometer. Bei metallischen Leitern erwähnt er, was die Abhängigkeit der Wärmemenge vom Widerstand anlangt, die schon vor ihm gemachte Erfahrung, daß Entladungen von der Elektrisier-Maschine eine ungefähr dem Leitungswiderstand proportionale Erwärmung hervorbringen; doch führt er auch eigene Messungen hierzu aus. Bei flüssigen Leitern geschieht dies noch ausführlicher, wobei er sowohl die Wärmeentwicklung in den Elementen als auch in elektrolytischen Zellen bei gemessenem variiertem Strom und Widerstand untersucht und in guter Übereinstimmung mit jenem Gesetz findet. Große Genauigkeit war seinen Messungen nicht eigen. Jedoch die Versuche waren rein: Es waren alle Nebenumstände erkannt und berücksichtigt; so war die auch ohne Strom stattfindende Wärmeentwicklung in den Elementen abgezogen, und die schon von Faraday gefundene Polarisationsspannung in den elektrolytischen Zellen war bei deren Widerstandsmessungen richtig berücksichtigt. Es ist immer so, daß es bei der ersten Erkennung neuer Naturzusammenhänge nicht so sehr au-große Genauigkeit der zugehörigen Messungen, als vielmehr auf Reinheit der Versuche neben der Zugrundelegung klarer Vorstellungen anf kommt. Die Genauigkeit und damit die Beantwortung der Frage, ob nicht noch weiteres Verborgenes nebenher vorhanden ist, findet sich später und] oft am besten auf indirektem Wege. So beruht der heute ganz unzweifelhafte Verlaß auf Joule's Gesetz — außer auf späteren verfeinerten direkten Messungen — zu allermeist auf dessen Übereinstimmung mit dem etwas später erkannten und immer streng gültig befundenen Energiegesetz, welche Übereinstimmung mit Zuhilfenahme von Ohm's Gesetz gezeigt werden konnte. Es stützen die drei, hier miteinander in Verbindung gekommenen Gesetze einander auf das Beste, so daß jede neue Bestätigung des einen auch auf die beiden anderen zurück-

wirkt: Die Natur ist ein zusammenhängendes Ganzes; jeder richtig erfaßte neue Teil fügt sich stets aufs Beste dem schon Bekannten ein und vereinfacht dabei sogar den Überblick der Gesamtkenntnis[1]).

Joule hatte diese Untersuchungen über die Stromwärme besonders in der Absicht durchgeführt, zu sehen, ob hier Wärme neu entstehe — wie bei Rumford's Reibungsversuch — oder ob etwa nur Wärme aus den Stromquellen, den Volta'schen Elementen, in die Strombahn überginge, in welchem letzteren Falle in den Elementen eine Erkaltung auftreten müßte. Der Erfolg verneinte dieses Letztere; die Elemente wurden auch warm, ganz nach Maßgabe von deren Widerstand und der Stromstärke. Joule schloß auch schon mittels Faraday's elektrolytischen Gesetzen, daß die gesamte Stromwärme in einem geschlossenen, von Volta-schen Elementen irgendwelcher Art gespeisten Leiterkreise proportional ist der in den Elementen chemisch umgesetzten Atomzahl. So kam er dazu, die Verbrennungswärme beispielsweise von Zink in Parallele zu setzen mit der Stromwärme, die der in den Elementen stattfindenden Zinkoxydation in solcher Weise zugeordnet ist.

Es war daher für Joule naheliegend, ja auf seinen Gedankenwegen geradezu das Gegebene, nun weiter noch zuzusehen, ob etwa die in Faraday's Weise, durch Induktion erzeugten Ströme irgendwo in der Stromquelle Kälte hinter sich ließen. Er baute dazu eine Induktionsmaschine mit Stahlmagneten, deren rotierender, stromerzeugender Anker in ein Kalorimeter eingebaut war, während der nach außen abgeleitete Strom gemessen werden konnte. Er findet durch Vergleichung bei offenem und bei geschlossenem Stromkreis, daß auch hier in der Stromquelle nur Wärme auftritt, wie in jedem anderen Leiter, und er faßt sogleich die hier im gesamten Stromkreis auftretende Wärme als Äquivalent nicht chemischer Umsetzung, wie in den Elementen, sondern der hier zum Treiben der Maschine verbrauchten mechanischen Arbeit auf, ähnlich wie bei Rumford's Reibungsversuchen. Er läßt nun die Maschine durch fallende Gewichte treiben, um die mechanische Arbeit zu messen und er stellt so die Anzahl Fußpfunde fest, welche einer Kalorie „äquivalent" sind.

Während Joule's Stromwärme-Gesetz schon vor Robert Mayer's erster Veröffentlichung bekannt gegeben war (1840 und 1841), erfolgten die zuletzt beschriebenen Versuche erst nach derselben (1843). Die der da-

[1]) Es erscheint als ein (unbewußter oder bewußter, doch jedenfalls übler) Kniff, von „klassischer" und „moderner" Naturwissenschaft zu reden — was zunehmend geschieht —, wobei der zwischen diesen beiden Teilen des Wissens bestehende Riß oder Gegensatz durch Einführung solcher Benamsungen eine das Neuere besonders anpreisende Scheinbegründung erfährt, statt daß man ganz einfach noch mangelnde Klärung als Ursache des Erscheinens eines Risses oder Gegensatzes zugestünde.

mals erreichbaren Genauigkeit entsprechende Übereinstimmung des hierbei von Joule in so merkwürdiger Weise, unter Einschaltung elektrischer Stromerzeugung gefundenen Äquivalentes (in Meterkilogramm umgerechnet 460 für eine °C- und Kg-Kalorie) mit dem von Robert Mayer aus ganz anderen Vorgängen, nämlich denen der Erwärmung von Gasen erschlossenen (365 in derselben Einheit)[1]), mußte sofort Robert Mayer's Entdeckung, sowie auch Joule's schon angesponnenen Gedankengängen, d.i. dem Energiegesetz, in den Augen derer, die den Sinn schon zu begreifen vermochten, völlig einleuchtendes Gewicht verleihen; es konnte kein Zweifel mehr sein, daß tatsächlich ein neuer, umfassender Einblick in Naturzusammenhänge gewonnen war — wie es Robert Mayer von Anfang meinte —, und es blieb nur übrig zuzusehen, inwiefern der neue Einblick zum Altbekannten sich fügte. Daß dies dem Sinne nach und im Großen ganz der Fall war, hatte schon 1845 Robert Mayer in seiner zweiten Veröffentlichung eingehend gezeigt; Joule's Sorge war es, die Übereinstimmung messend in möglichst vielartiger Weise nachzuprüfen, und dies beschäftigte ihn in stetig vervollkommneten und verfeinerten Versuchen durch 35 Jahre, von 1843 bis 1878.

Merkwürdig ist es dabei, daß Joule anfangs (1843) es nicht einmal für so besonders nötig hielt, nach dem schon Erhellten noch umfassendere Versuche anzustellen; er sagt vielmehr — nachdem er in einem Kalorimeter auch Wasser durch enge Röhren unter Arbeitsmessung gepreßt und wieder ein genügend übereinstimmendes Arbeitsäquivalent der entstehenden Wärme gefunden hatte (423 mkg/Kal.) —, daß er keine Zeit verlieren wolle die Versuche zu vermehren, in der Überzeugung, „daß die großen Urkräfte der Natur (the grand agents of nature) nach des Schöpfers Willen (by the Creators fiat) unzerstörbar seien"[2]). Erst allmählich — auch nach von Außen an ihn gekommenen Wünschen — vertiefte er sich immer mehr in die Untersuchung noch weiterer Umwandlungs-Vorgänge und ins Exakt-Quantitative. So maß er in den genannten Jahren Arbeitsverbrauch und Wärmeerzeugung bei Luftverdichtung, bei Reibung eines Schaufelrades in Wasser, bei Reibung in Öl, in Quecksilber und schließlich nochmals in sehr verfeinerter Weise bei elektrischer Heizung. Alle Äquivalent-Werte stimmten soweit miteinander und mit Mayer's Wert überein als die jeweilige Meßgenauigkeit es erwarten ließ, und das Ergebnis der beiden feinst durchgeführten

[1]) Aus späteren, genaueren Messungen der spezifischen Wärmen der Luft ergab sich nach Robert Mayer's Schlußweise 424 mkg/Kal. und aus den späteren, verfeinerten Stromwärmemessungen von Joule 425 mkg/Kal. Die geringer gewordene Ungleichheit der beiden Zahlen entspricht der Verbesserung der Meßmethoden.

[2]) Philos. Magazine, Ser. 3, Bd. 23, 1843; „Collected Papers of J. P. Joule", Vol. I, S. 157—158.

Untersuchungen (425 mkg/Kal.) konnte dann lange als best festgestellter Wert des mechanischen Wärmeäquivalentes gelten[1]), womit Joule — ursprünglich ein vornehm für höchste Gesichtspunkte der Naturforschung begeisterter Mann des praktischen Lebens — auch in der exakten Meßkunst als Vorbild sich erwies.



Bild 55. James Prescott Joule.
Nach dem Gemälde von George Patten.

James Prescott Joule war zu Salford bei Manchester geboren als zweiter Sohn eines Bierbrauers. Die Brauerei war Familienbesitz und schon vom Großvater gegründet. James Prescott war ein schwaches Kind und wurde bis zum 15. Jahre ganz zu Hause erzogen. Von

[1]) Spätere, noch weitergehende Verfeinerungen (die 427 mkg/Kal. ergaben) konnten erst eintreten, als man die zugrundeliegende Wärmeeinheit, die Kalorie, schärfer gefaßt hatte, was allerdings nur für Fälle selten erreichbarer Genauigkeit in Betracht kommt.

da ab begann er in der Brauerei zu arbeiten, empfing aber gleichzeitig, zusammen mit seinem älteren Bruder, Unterricht in der Mathematik und den Naturwissenschaften und zwar bei Dalton. Alsbald danach begann er auch selbst zu experimentieren, meist mit selbstgebauten Apparaten, wozu er im Hause seines Vaters Raum fand. Mit 19 Jahren schrieb er eine erste Veröffentlichung (über einen neuartigen — übrigens von ihm selbst bald als unvorteilhaft erkannten — Elektromotor); mit 22 Jahren folgte schon seine erste Veröffentlichung über das Stromwärmegesetz. Später baute ihm sein Vater ein Laboratorium. Nachdem er, zusammen mit seinem Bruder, die Brauerei übernommen hatte, heiratete er; doch verstarb seine Gattin schon 1854, in welchem Jahre die bis dahin von ihm geleitete Brauerei verkauft wurde. Von da ab lebte er in großer Zurückgezogenheit, ausschließlich seiner wissenschaftlichen Arbeit gewidmet. Von 1872 an war seine Gesundheit schwach; seit 1878 bezog er einen Ruhegehalt von der Königin. Er starb 71 Jahre alt am Ort seiner Geburt, zu Salford.

Joule hatte, wie Faraday, das seltene Glück, in der Jugend einen ebenbürtigen Meister gefunden zu haben; für Faraday war es Davy, für Joule Dalton. Eine sonstige, besondere Schulung „in ihrer Wissenschaft" haben Beide ebensowenig durchgemacht, wie fast alle großen Forscher; sie haben ihre Wissenschaft selbst hervorgebracht. Bei Joule hat man auch — seinen gelegentlichen Anführungen nach — den Eindruck, daß er wenig Gründliches aus neuerer Zeit gelesen habe und vielleicht nur aus Berichten technischer Schriften sich fortlaufend orientierte. Er beanspruchte auch nicht, vorbildlicher Gelehrter zu sein, wohl aber war er — hierin Robert Mayer gleich — der seltene Mann praktischen Berufes, der gern Muße und reichlicheren Lebensgenuß daransetzte — oder darin fand —, den Geheimnissen der Natur näher zu kommen.

Hermann Helmholtz wurde als ältester Sohn eines Gymnasiallehrers in Potsdam geboren, besuchte dort Schule und Gymnasium und studierte dann im königlich medizinisch-chirurgischen Friedrich-Wilhelms-Institut in Berlin Medizin[1]). Ein Studium der Naturwissenschaften schien für seine Eltern nicht erschwinglich, während in jenem Institut zukünftige Militär-Ärzte nach Bestehen einer Aufnahme-Prüfung mit geringen Kosten herausgebildet wurden. Von 1843 bis 1848 war er dann Militärarzt in Potsdam, in welcher Zeit er auch seine medizinische Staatsprüfung ablegte. Zugleich trat er in die damals neu gegründete Berliner „Physikalische Gesellschaft" ein und wirkte bei derselben bald als Literatur-Berichterstatter. Die mannigfachen Literatur-

[1]) Man vgl. zum Folgenden das eingehende Werk „Hermann von Helmholtz" von L. Koenigsberger (Braunschweig 1902).

Studien, die er damals trieb, umfaßten auch grundlegende mathematische Werke. Außerdem beschäftigten ihn auch schon selbständige physiologische Untersuchungen. Es war besonders die Frage des Bestehens oder Nichtbestehens einer „Lebenskraft", die überhaupt Physiologen und Chemiker der damaligen Zeit bewegte, an welche seine Studien sich



Bild 56. Hermann v. Helmholtz.

knüpften. Hieraus ging auch seine im Jahre 1847 veröffentlichte Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft" hervor, in welcher er das von Robert Mayer und Joule schon begründete Energiegesetz durch alle Gebiete der Physik teilweise noch etwas weiter als Mayer und auch in mathematischer Form durchführte. Neu ist dabei besonders auch der Nachweis, daß Faraday's Gesetz der Induktion ebenfalls mit der Energie-Erhaltung stimmt, indem die zur Induktion nötigen Kraft-

linienschnitte stets unter einer Arbeitsleistung ausgeführt werden müssen, die der induzierten Stromstärke proportional ist, wonach einzusehen ist, daß die Stromwärme das Äquivalent der bei der Induktion aufgewendeten Arbeit ist (nicht etwa irgendwo sonst als Kälte fehlt), wie es Joule damals auch schon als den Tatsachen entsprechend gezeigt hatte. Helmholtz legte in dieser Abhandlung besonderen Wert darauf, daß das Gesetz der Energieerhaltung als Folge ausschließlichen Bestehens anziehender und abstoßender Kräfte, deren Stärke von den Entfernungen der aufeinander wirkenden Körper abhängt, ableitbar ist. Dieser Nachweis hat aber seine damals gedachte grundlegende Wichtigkeit (einer „mathematischen Begründung" des Gesetzes) verloren, da klar geworden ist, daß in der Natur auch ganz andere Kräfte vorkommen, wie es schon Faraday auffaßte. Es ist sogar noch zu Helmholtz' Lebenszeit sicher geworden, daß elektrische und magnetische Kräfte keine solchen „Fernkräfte" sind[1]).

Im Jahre 1848 erhielt Helmholtz eine anatomische Lehrstelle in der Berliner Kunstakademie und ein Jahr darauf die Professur für Physiologie an der Universität Königsberg, wo er sich alsbald verheiratete. Dort erfand er den Augenspiegel zur Beobachtung der Netzhaut im lebenden Auge. Im Jahre 1855 ging er als Professor der Anatomie und Physiologie nach Bonn, 1858 als Professor der Physiologie nach Heidelberg, wo er nach frühem Tode seiner ersten Frau zum zweiten Male heiratete. Im Jahre 1871 wurde er als erster Vertreter der Physik an die Universität Berlin berufen und 1888, mit 67 Jahren, übernahm er die Präsidentschaft der damals neu gegründeten „Physikalisch-Technischen Reichsanstalt", die er bis zu seinem im 73. Lebensjahre erfolgten Tode inne hatte.

Helmholtz' wissenschaftliche Eigenart lag in seiner umfassenden Befähigung, auf allen Gebieten des Wissens leicht so sich zurechtzufinden, daß das Wesentliche ihm schnell ersichtlich wurde und dann zu weiterer Verarbeitung geläufig zur Hand war. Alle großen Zusammenhänge innerhalb des exakten Wissens aller Art mußten ihm gegenwärtig sein, um seine ebenso zahlreichen als mannigfaltigen Arbeiten[2]) zu ermöglichen, die meist ausbauender, schon vorhandene Naturerkenntnis verbindender und ergänzender Art sind.

Auch eine seltene mathematische Begabung war in dieser umfassenden Befähigung eingeschlossen. So gelang es ihm aus den Differentialgleichungen der Hydrodynamik die charakteristischen Erscheinungen der Wirbelbewegungen und der Strahlbildung in Flüssigkeiten und

---

[1]) Dies findet sich bei Hertz erläutert.

[2]) H. Helmholtz, „Wissenschaftliche Abhandlungen", 3 Bände. Verlag Barth, Leipzig 1895.

Gasen in bewundernswerter Weise herauszulesen und -zulösen. Eine Leistung neuer Naturerkenntnis war das nicht, wohl aber eine besondere mathematische Leistung[1]). Denn die Grundgleichungen waren schon fast 100 Jahre lang vorhanden, und noch viel länger schon waren Drehbewegungen in Flüssigkeiten und das Ausfließen in Strahlen bekannt; aber Niemandem war es bis dahin gelungen, zu zeigen, daß diese Erscheinungen nicht nur in den Grundgleichungen enthalten sind — daß sie somit grundsätzlich neue Erkenntnisse nicht bergen, sondern nur gänzlich nach Newton's und Galilei's Bewegungsgesetzen ablaufen, was schon Newton eingesehen hatte —, sondern auch aus den Grundgleichungen diese Bewegungsvorgänge ganz im Einzelnen zu entnehmen, und darzustellen wie sie bei Flüssigkeiten und Gasen von bestimmten Eigenschaften nach den Grundgesetzen ablaufen müssen. Damit war zugleich auch klar geworden — besser als aus irgendwelchen Beobachtungen und hinausgehend über Newton's früheste Feststellungen —, was das Wesentlichste und Charakteristische dieser Erscheinungen ist, welches ihre einfachsten Züge sind und was weiter mit ihnen anzufangen oder von ihnen zu denken sei. Daß dies zu leisten Helmholtz vorbehalten geblieben war, der doch gar kein mathematisches Universitätsstudium getrieben hatte, dies zeigt in ganz besonderer Weise die vollkommene Nutzlosigkeit des so ausgedehnten mathematischen Unterrichts-Betriebes der heutigen Universitäten, wobei Ungezählte nur zu Examenszwecken mit Entlegenstem geplagt werden, deren Viele nachher als Lehrer in Schulen ebenso nutzlos die uferlose Plage weitergeben, statt bescheidene, aber gesicherte Grundkenntnisse, den einfachen großen Grund-Sinn mathematischen Denkens und Einsicht in das Wesentliche der Naturforschung zu überliefern[2]), während doch nur Wenige es sind, die mittels Mathematik überhaupt Fortschritt zu bringen vermögen und die dazu so großer Zeitverluste gar nicht bedürfen.

Als Beispiele für Helmholtz' Gabe, Möglichkeiten unbekannter Naturvorgänge aus Bekanntem richtig zu beurteilen, seien genannt: sein früher Hinweis auf elektrische Schwingungen[3]), 6 Jahre bevor diese heute so wohlbekannten Vorgänge auf Faraday's Grundlagen von William Thomson berechnet und 10 Jahre bevor sie durch Beobachtung feststellbar wurden, und sein Nachweis, daß genügend kurzwellige Lichtstrahlen durch Alles gradlinig hindurchgehen würden[4]), 3 Jahre

[1]) Vgl. dazu das bereits zu Laplace und Gauß Bemerkte.

[2]) Ich habe diese Gedanken in der „Deutschen Physik" in Ausführlichkeit zu praktischer Durchführung gebracht.

[3]) In der Abhandlung „Über die Erhaltung der Kraft". 1847. Gesammelte Abhandlungen Band I, S. 46.

[4]) In der Abhandlung „Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung" 1892. Gesammelte Abhandlungen Bd. III, S. 505.

bevor Strahlen, bei denen dies zutrifft, entdeckt wurden, und 20 Jahre bevor die entdeckten, bald in der Medizin so wichtig gewordenen Strahlen als äußerst kurzwellige Ätherstrahlung (Hochfrequenzstrahlung) in der Tat feststellbar wurden. Dazu kamen bei Helmholtz noch, sein allgemeines Ansehen fördernd, zusammenfassende, zum Teil allgemeinverständliche Darstellungen, wie seine größeren Werke, die „Physiologische Optik" und die „Lehre von den Tonempfindungen", sowie viele Vorträge und Reden, wobei auch sein Kunst- besonders auch Musik-Verständnis zur Geltung kam und wobei er, dem Geschmack und den Anschauungen seiner Zeit oft auf halbem Wege entgegenkommend — z. B. wenn er auf eine Wertschätzung des Aristoteles sich einläßt —, sehr weite Kreise zu gewinnen vermochte.

Rudolf Clausius (1822—1888) und William Thomson (Lord Kelvin) (1824—1907).

Nachdem das Gesetz der Energieerhaltung erkannt und die Unumschränktheit seiner Gültigkeit immer deutlicher geworden war, war es an der Zeit, Carnot's Gedankengänge über die Wirkung der Wärme in der Richtung weiter zu verfolgen, die er — wie sein Nachlaß verspätet gezeigt hat — auch schon selber einzuschlagen begonnen hatte. Dies auszuführen war großenteils — neben nicht geringen anderen Leistungen — das Lebenswerk von Clausius in Deutschland und W. Thomson in England. Clausius, der etwas Ältere, war dabei vorangegangen, Thomson folgte alsbald und brachte viel Weiteres bis zu den entlegensten Folgerungen hinzu. Es war die Erkennung eines neuen, die Wärme betreffenden Grundgesetzes, was hier den wesentlichen Fortschritt brachte, Carnot's Zweifel klärte, ältere und neuere Erkenntnis über die Wärme einheitlich verstehen ließ und viele weitere Schlüsse gestattete. Dieses neue, von Clausius eingeführte Grundgesetz wird der 2. Hauptsatz der hierdurch begründeten „mechanischen Wärmetheorie" oder „Thermodynamik" genannt, während der 1. Hauptsatz dieses Wissenszweiges das Energiegesetz ist. Auch der neue, 2. Hauptsatz gründet sich nur auf Erfahrung; jedoch war nicht — wie William Thomson erst dachte — neue Erfahrung vonnöten, um zu den neuen Einsichten zu gelangen, sondern es genügte — wie Clausius zeigen konnte — ein schon vorhandener Erfahrungssatz, nämlich: „Daß Wärme niemals von selber aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergeht". Daß der Satz richtig ist, zeigen alle bei Wärmeübergängen durch Leitung, Strömung oder

auch Strahlung gemachten Erfahrungen, nicht ohne daß freilich dabei die Worte „von selber" einer besonderen, zutreffenden Deutung bedürfen. Man kann bereits diesen Erfahrungssatz als 2. Hauptsatz der Wärmetheorie bezeichnen; man kann ihm aber auch andere Formen geben, besonders solche, die zur rechnerischen Verwertung unmittelbar geeignet sind, wie das Clausius getan hat und wobei er eine neu



Bild 57. Rudolf Clausius.

definierte Größe, die „Entropie" einführte, worauf hier nicht weiter einzugehen ist. Nur sei bemerkt, daß der 2. Hauptsatz auch die Angabe des Bruchteiles von Wärme in sich schließt, der in einem Wärmemotor bester, d. i. — wie Carnot schon zeigte — vollkommen umkehrbarer Art in Arbeit verwandelt werden kann: Der Bruchteil ist gegeben durch das Verhältnis der verfügbaren Temperaturstufe zur absoluten, d. i. von — 273° C an gerechneten Temperatur des heißen Körpers, dem die zu verwandelnde Wärme entnommen wird. Dieses

Ergebnis war von großer Wichtigkeit für alle Fortschritte im Bau von Wärmemotoren, von der Dampfmaschine bis zu den Explosionsmotoren neuester Art. Von anderen Ergebnissen der Thermodynamik seien nur die gesicherte Herleitung der Beziehung zwischen Schmelzpunkt und Druck und die Erkenntnis besonderer Eigenschaften gesättigter Dämpfe erwähnt; jene mit Wichtigkeit auch für die Beurteilung der Zustände im Erdinnern und bei den Gletschern, diese für die feinere Verfolgung der Vorgänge am Wasserdampf in der Erdatmosphäre und in der Dampfmaschine.

Es sei, bevor wir auf weitere Errungenschaften der beiden Forscher eingehen, ihr Leben kurz betrachtet.

Clausius war in Köslin in Pommern geboren als der 6. Sohn unter den 18 Kindern eines Schulrates dortselbst. Er besuchte das Gymnasium in Stettin, studierte in Berlin, übernahm, um Mittel zugunsten der Erziehung seiner jüngeren Geschwister verschaffen zu helfen, schon früh Lehrerstellen, habilitierte sich mit 28 Jahren an der Universität Berlin und erhielt 5 Jahre später einen Ruf an die Technische Hochschule in Zürich, wo er 12 Jahre blieb und auch eine Familie gründete. Dann folgten Berufungen an die Universität Würzburg und bald danach Bonn, wo er bis an sein Lebensende wirkte. Von Bonn aus nahm er auch am Feldzug von 1870 teil; eine Verwundung am Knie machte ihm zeitweilig Beschwerden; doch fand er mit 56 Jahren noch am Reiten eine für ihn geeignete Körperbetätigung. Er starb im Alter von 66 Jahren. Gleichwie von Robert Mayer berichten auch von Clausius schon Genossen der Schulzeit strengste Wahrheitsliebe, Verläßlichkeit, Geradheit und Pflichttreue als besonders kennzeichnende Eigenschaften.

William Thomson, schottischer Abstammung, wurde zu Belfast in Irland geboren. Sein Vater war dort Lehrer der Mathematik; er unterrichtete seinen Sohn bis zu dessen 10. Jahre ganz allein und doch vielseitig, dann wurde er an die Universität Glasgow berufen, wo er William in diesem frühen Alter unter die Studierenden aufnehmen ließ. Es schlug gut aus; William vertiefte sich dort besonders auch in Fourier's Werk über Wärmeleitung, das voll damals neuer Gesichtspunkte und mathematischer Kunst ist, und in Laplace, und bald veröffentlichte er auch schon eine erste, kleine Abhandlung im Anschluß an Fourier. Mit 16 Jahren siedelte er dann an die Universität Cambridge über, später für ein Jahr nach Paris, wo er in Regnault's[1])

[1]) Regnault, geboren 1810 zu Aachen, gestorben 1878, war berühmt durch seine exakten kalorimetrischen Messungen.

Laboratorium arbeitete. Kurz nach seiner Rückkehr nach Glasgow wurde dort der Lehrstuhl für Physik („Natural philosophy“) frei, und der erst 22jährige William Thomson wurde auf denselben berufen. Mit bescheidenen Mitteln richtete er sogleich in einem leer stehenden Weinkeller Experimentierräume ein; erst 1870 wurde ein Neubau errichtet.



Bild 58. William Thomson (Lord Kelvin).

Thomson blieb Glasgow bis an sein Lebensende treu; es war ihm dort neben dem angenehmen, anregenden Maß einer Lehrtätigkeit[1]) Muße für wissenschaftliche Arbeit gewährt, und die Bescheidenheit der Mittel wußte Thomson durch die Auswertung seiner technischen Erfindungen zu beheben. Hierher gehören sein schnell unersetzlich gewordenes Quadrant-Elektrometer, zusammen mit verschiedenen Formen unmittelbar ablesbarer Strommesser, die damals etwas ganz Neues waren, und seine exakten Hilfsmittel zur Untersuchung der

[1]) So — in Übereinstimmung auch mit sonst Bekanntem — von W. Voigt beurteilt in seinen trefflichen „Gedächtnisworten auf Lord Kelvin“, Göttinger Berichte 1908.

atmosphärischen Elektrizität; außerdem aber auch seine Verbesserungen am Schiffskompaß und an den Lotungsvorrichtungen, sowie besonders sein neuartiger, lange Zeit ausschließlich in Benutzung gewesener Empfangsapparat für Kabeltelegraphie (1867), wodurch die letztere auf große Entfernungen hin überhaupt erst zu sicherem Gelingen kam[1]). Solchen schnell und allgemein einleuchtenden Leistungen — die Thomson wohl auch selbst Freude machten, ihm aber seiner Geistesart nach doch nur nebensächlich dünken konnten — hatte er ohne Zweifel den größten Teil seines öffentlichen Ansehens und auch die Erhebung in den Adelsstand — mit Verleihung des Namens eines Lord Kelvin (1892) — zu verdanken; sie setzten ihn auch instand ein Schloß und eine Yacht zum Wohnsitz auf Land und See zu erwerben. Eine stets für sein Wohl sorgende Gattin stand ihm zur Seite. Mit 75 Jahren gab er seine Lehrtätigkeit auf; er starb 84 Jahre alt.

Als eine besonders bedeutsame Leistung von William Thomson muß auch die von ihm gelieferte erste Berechnung elektrischer Schwingungen genannt werden. Er war es, der zuerst klar machte, wie die Wirkung der von Faraday entdeckten Selbstinduktion das Zustandekommen schwingend hin- und herlaufender elektrischer Ströme in ungeschlossenen Leitern zur Folge haben müsse, und er berechnete aus dem Induktionsgesetz und aus Ohm's Gesetz den Verlauf solcher Schwingungen bereits in allen Einzelheiten, mit Schwingungsdauer, Dämpfung und dem ganzen Intensitätsverlauf, je nach den maßgebenden Umständen der Kapazität, der Selbstinduktion und des Widerstandes[2]). Solche Schwingungen, die Helmholtz schon vermutet hatte, ließen sich dann tatsächlich herstellen und nachweisen. Maxwell hat den Gedanken der elektrischen Wellen hinzugefügt, die von solchen Schwingungen ausgehen sollten, und gezeigt, welche Eigenschaften diese Wellen haben müßten, und Hertz hat noch später die Wellen tatsächlich auffinden und studieren können, welche Leistungen wir in richtiger Zeitfolge noch besonders ihrem ganzen Umfange nach zu betrachten haben.

Um Clausius und auch W. Thomson, besonders den Ersteren, voll zu würdigen, müssen wir uns nun nochmals den Erscheinungen der Wärme zuwenden.

Clausius hat nicht nur (von 1850 an) die „Thermodynamik" begründet, sondern auch (von 1857 an) die „Kinetische Gastheorie"

[1]) Das Legen der Kabel, was auch nicht einfach war, hatte zuerst Werner Siemens zum zuverlässigen Gelingen gebracht; vgl. W. Siemens, „Lebenserinnerungen".

[2]) Philos. Magazine, Vol. 5, S. 393, 1853.

entwickelt. Während die erstere von den schon erwähnten beiden Hauptsätzen ausgeht, wobei die Wärme ohne weiteres Eingehen auf ihre Natur als eine Form der Energie behandelt wird, verfolgt die letztere die Bewegungen der Moleküle, welche das Wesen der Wärme ausmachen; hier erscheint die Wärme in der Tat als das, was Rumford schon dachte: als Bewegung. Die Naturerkenntnis war genügend fortgeschritten, um dies jetzt mit Sicherheit behaupten und auch die Art der Bewegung der Moleküle angeben zu können. Am vollständigsten war letzteres sogleich für den Gaszustand möglich. Schon Joule hatte dazu (im Jahre 1851) einen gut gegründeten Anfang gemacht, der nicht mehr bloße und willkürliche Hypothese (Vermutung) war, sondern auf seine Studien über das mechanische Wärmeäquivalent sich stützte[1]). Clausius berechnet nun einwandfrei die Geschwindigkeiten der Moleküle, später auch ihre freien Weglängen, d. i. die Strecken, auf welchen sie sich geradlinig von Zusammenstoß zu Zusammenstoß bewegen. Die Geschwindigkeiten sind sehr groß, die Weglängen sehr klein (bei gewöhnlicher Temperatur und gewöhnlichem Druck), so daß die Zusammenstöße der Moleküle sehr häufig sind. Diese Zusammenstöße verlaufen im Endergebnis nach den schon von Huygens ergründeten Gesetzen vollkommen elastischer Stöße. Die vom absoluten Nullpunkt (—273° C) an gemessene Temperatur wird proportional erkannt der lebendigen Kraft der Gasmoleküle; der Druck eines Gases ist bloße Wirkung der Stöße der Gasmoleküle auf die Gefäßwände; das schon von Guericke erkannte Bestreben jedes Gases, über allen Raum sich zu verbreiten, ist nur Folge der gradlinigen Weiterbewegung der Moleküle nach Galilei's Trägheitsgesetz und nicht etwa bedingt durch Abstoßungskräfte der Moleküle. Die Gasgesetze von Boyle und Mariotte, von Gay-Lussac und Dalton, von Avogadro, ergeben sich dabei von selbst als rein mechanische Folgen der Molekularbewegung. Avogadro's Gesetz wurde überhaupt erst durch diese Zusammenhänge mit einer solchen Fülle von gutgesicherten neuen und alten Erkenntnissen über alle Zweifel hinausgesetzt.

Durch all das gewannen auch überhaupt Dalton's und Avogadro's Erkenntnisse über den Aufbau der Materie aus Atomen, die zu Molekülen gruppiert sind, fast plötzlich ihre, bis dahin durch 50 Jahre schon allmählich immer gewachsene, nun so gut wie volle Sicherheit, worauf so vieles Weitere in fast unabsehbarer Folge sich gründete.

Außerdem waren die Atome und Moleküle jetzt nicht nur, wie tastend schon seit Dalton, nach ihren relativen Gewichten ergründbar,

[1]) Joule „Collected Papers" I, S. 290: „Some remarks on heat and the constitution of elastic fluids."

sondern man lernte auch ihre Durchmesser im gewöhnlichen Längenmaß und bald auch ihre absoluten Gewichte und damit auch ihre Anzahl im Kubikzentimeter jedes Gases bei gegebenem Druck und gegebener Temperatur kennen. Die schon von Newton und Coulomb studierte innere Reibung der Gase, die Diffusion und die Wärmeleitung in Gasen wurden jetzt in allen Einzelheiten verständlich und zwar quantitativ, so daß ihre zum Teil ganz unerwarteten Eigentümlichkeiten sogar vorausgesagt und dann bei Nachmessung bestätigt werden konnten (z. B. daß Gase — im Gegensatz zu Flüssigkeiten — bei Erhitzung zunehmende innere Reibung bekommen, dickflüssiger werden), wobei quantitative Zusammenhänge sich ergaben, die umgekehrt auch zu noch eingehenderer Erforschung der Eigenschaften der Gasmoleküle dienlich wurden. Auch die spezifischen Wärmen der Gase mit ihren merkwürdigen Gesetzmäßigkeiten wurden verständlich, und sie wurden dadurch ein neues Mittel zu sicherer Ermittelung der Atomzahlen in den Molekülen; man lernte einatomige Moleküle, wie die der Metalldämpfe (später der Edelgase), von zwei- und mehratomigen Molekülen mit Sicherheit unterscheiden. Alles dieses wurde durch Clausius fest gegründet. An dem dann schnell — im Wesentlichen schon innerhalb etwa 10 Jahren — erfolgenden weiteren Ausbau war außer W. Thomson, Maxwell und Boltzmann besonders auch Loschmidt[1]) beteiligt.

Nach solcher Kenntnis-Entwickelung kam auch ein altes Problem zu abschließender Lösung, nämlich das der Verflüssigung der Gase. Die heute fabrikmäßig in großem Maßstabe ablaufende Herstellungsweise flüssiger Luft beruht auf einer Erkenntnis, die von W. Thomson im Verein mit Joule in einer mit großer Beharrlichkeit durchgeführten Experimental-Untersuchung gewonnen wurde, auf die wir sogleich eingehen werden. Ursprünglich lag bei allen den von Scheele, Priestley und Cavendish neuentdeckten gasförmigen Stoffen die Grundfrage vor: ob sie überhaupt in flüssigen Zustand zu bringen seien. Faraday war der Erste, der — schon 1823, damals noch Davy's Gehilfe — die Frage bearbeitete. Er wandte die Mittel an, die schon seit Dalton's Untersuchungen über Dämpfe zur Verflüssigung dieser letzteren bekannt waren: Druck und Kälte. Es gelang ihm, in einfacher Weise Chlor, Kohlensäure und andere Gase zu verflüssigen: Er ließ die Gase durch Entwicklung in zugeschmolzenen Glasröhren sich selbst unter Druck setzen und kühlte zugleich das eine, nach unten gebogene Röhrenende in einer Kältemischung. Man lernte dann die Verflüssigungen in grö-

[1]) Loschmidt war geboren 1821 als Sohn armer Bauersleute im Dörfchen Putschirn bei Karlsbad, er starb 1895 als Professor der Physik an der Universität Wien.

ßerem Maßstabe mittels Pumpen ausführen; doch gelang bei einer Reihe von Gasen wie Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff auch bei höchsten erreichbaren Drucken immer keine Verflüssigung.

Faraday nahm daher im Jahre 1844 die Untersuchung wieder auf; er ging jetzt von Beobachtungen aus, die schon zur Zeit seiner ersten Versuche von Cagniard de La Tour, einem naturforschenden französischen Techniker[1]), veröffentlicht worden waren (1822). Dieser hatte Flüssigkeiten wie Äthyläther, Schwefelkohlenstoff, Wasser in verschlossenen Glasröhren erhitzt und dabei beobachtet, daß sie oberhalb gewisser Temperaturen ganz und gar in Dampf sich verwandelten, obgleich der Druck, den er in mehreren Fällen eingehend maß, sehr hoch wurde und obgleich die Dichte des Dampfes dem gegebenen Volum nach dann nicht sehr viel geringer sein konnte als die der Flüssigkeit. Er stellte für jede der Flüssigkeiten eine Temperatur fest — später die „kritische Temperatur" genannt —, oberhalb deren sie trotz starkem Ansteigen des Druckes nicht flüssig blieben, z. B. für Äthyläther 187° C. Faraday sah ein, daß dies auch für das umgekehrte Problem, die Verflüssigung gasförmiger Körper, von Wichtigkeit sein müsse, wonach es dabei mehr auf genügend tiefe Temperatur als auf höchste Drucke ankommen würde. Er stellte daher eine große Zahl neuer Versuche mit vielen Gasen an[2]), wobei er sich einfacher Pumpvorrichtungen und der damals schon verfügbaren Kältemischung aus fester Kohlensäure und Äther bediente, deren Wirkung er noch durch Abpumpen von Kohlensäure steigerte, wobei ungefähr —100° C erreicht wurde. So gelang es ihm, noch eine Reihe von Gasen zu verflüssigen; jedoch Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, auch Stickoxyd und Kohlenoxyd blieben immer noch gasförmig. Faraday untersuchte auch die Dampfspannungen der verschiedenen von ihm verdichteten Gase in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur; bei Kohlensäure schließt er, daß sie in der Nähe von 90° Fahrenheit (= 32° C) ihren „Cagniard de La Tour'schen Zustand" (kritischen Zustand) habe, mit gleicher Dichte von Gas und Flüssigkeit, und daß sie also bei höheren Temperaturen nicht flüssig werde, wonach er für die von ihm nicht verflüssigten Gase ausdrücklich auf die erforderliche Anwendung noch tieferer Temperaturen, als von ihm benutzt, hinweist. Dies Ergebnis wurde 26 Jahre später (1873) eingehend bestätigt von Thomas Andrews (lebte 1813 bis 1885 zuerst als prak-

[1]) Cagniard de La Tour (lebte 1777—1859) ist auch der Erfinder der für akustische Untersuchungen wichtig gewordenen „Sirene", die zuletzt auch Signalmittel für Schiffe und dergleichen wurde. Er entdeckte auch den Hefepilz als Ursache der alkoholischen Gärung (1828).

[2]) Beschrieben in den „Philosoph. Transactions of the Royal Society" von 1845, deutsch wiedergegeben in den „Annalen der Physik und Chemie", Ergänzungsband II von 1848, S. 193.

tischer Arzt, dann als Professor der Chemie in Belfast), als er mit noch größerer Ausführlichkeit und neueren Verbesserungen den Zusammenhang von Druck und Volum bei Kohlensäure für verschiedene Temperaturen messend verfolgte; er fand, in erstaunlich guter Übereinstimmung mit Faraday, 31° C als kritische Temperatur der Kohlensäure und gab eingehende Kurvendarstellungen des ganzen Verhaltens.

Hierauf gründete Van der Waals (lebte 1837—1923 in Leyden und Amsterdam) alsbald (1873) die unter seinem Namen bekannte bewundernswerte Gleichung, welche die besagten Zusammenhänge in einfacher und für alle Gase gültiger Weise so zusammenfaßt, daß auch die lange schon bekannten Abweichungen von Boyle und Mariotte's, sowie von Gay-Lussac und Dalton's Gasgesetz, ebenso wie alle Fragen der Verflüssigung der Gase darin enthalten sind. Es war das eine große Zusammenfassung von viel Einzelerkenntnissen, die dadurch nun auch gegenseitig sich stützen konnten. Diese zusammenfassende Gleichung steht außerdem im besten Zusammenhang mit den Ergebnissen der kinetischen Gastheorie, die ebenfalls merkliche Abweichungen von den genannten Gasgesetzen angibt, sobald das Eigenvolum der Moleküle im Verhältnis zum Gesamtvolum des Gases merklich wird oder aber die Kräfte merklich werden, mit welchen die Gasmoleküle einander anziehen. Für dieses Eigenvolum und für die Molekularkräfte enthält Van der Waals' Gleichung je eine besondere Zahlenangabe für jedes Gas. Die Molekularkräfte sind — in Übereinstimmung mit Laplace's Kapillaritätstheorie — bei den Gasen sehr gering, weil die Gasmoleküle während ihrer Bewegungen durchschnittlich in Abständen sich befinden, die weit über den Wirkungsbereich dieser Kräfte gehen; doch verschwinden sie nicht ganz.

Das Bestehen geringer Molekularkräfte auch bei Gasen konnte lange vorher schon aus der bereits erwähnten merkwürdigen Untersuchung von Joule und W. Thomson aus den Jahren 1852 bis 1862 geschlossen werden. Die Untersuchung wollte eine Erkaltung nachweisen, wenn ein Gas sich dehnt, ohne dabei nach außen hin Arbeit zu leisten. Nach dem Energiegesetz könnte eine solche Erkaltung nur eintreten, wenn irgendwie im Gase selbst bei der Volumvergrößerung Arbeit geleistet wird, deren Wärmeäquivalent dann verschwinden muß. Dies wäre der Fall, wenn gegenseitige Anziehungskräfte der Moleküle wirksam sind. Die bereits 1806 von Gay-Lussac ausgeführten Versuche hatten keine Erkaltung gezeigt; dieselbe — und damit auch die Wirkung der Molekularkräfte — konnte daher jedenfalls nur sehr gering sein. Es gelang Joule und W. Thomson nach Überwindung vieler Hindernisse schließlich, eine kleine Erkaltung (einige Zehntel Grade) doch sicher-

zustellen, indem sie das Gas im Kreise herumpumpten, wobei es an einer verengten Stelle der Rohrleitung plötzlich sich dehnen konnte. Äußere Arbeit wird dabei vom Gase nicht geleistet, wenn es sich nach Boyle und Mariotte's Gesetz verhält, weil dann das Produkt aus Volum und Druck gleiche Größe behält; dennoch trat an der verengten Stelle die erwähnte geringe Erkaltung ein. Das Vorhandensein der Molekularkräfte, sowie aber auch ihre Geringfügigkeit bei den Gasen mit ihren großen Molekülabständen — ganz entsprechend den geringen Abweichungen von jenem Gesetz — war damit nachgewiesen.

Bei so eingehender Bekanntschaft mit den Gasen war alles aufs Beste vorbereitet, um die Verflüssigung auch von Sauerstoff, Stickstoff und also auch der gewöhnlichen Luft ins Werk zu setzen; sie gelang im Jahre 1877. Die schon von Faraday als erforderlich angegebene stärkere Kühlung wurde bei den zuverlässigst durchgeführten Versuchen durch das sehr einfache, schon seit Dalton bekannte Mittel plötzlichen Sich-dehnen-Lassens des stark zusammengepreßten und schon vorgekühlten Gases erreicht[1]). Trat dabei die Verflüssigung auch nur auf kurze Zeit in Gestalt eines Nebels oder einiger Tröpfchen auf, so wurde sie doch gesehen, und es war damit Gewißheit erhalten: Es gibt flüssigen Sauerstoff. Man war nun sicher geworden, daß die nach den Mißerfolgen so vieler Jahre bei der nicht unterrichteten Allgemeinheit schon fast feststehend gewordene Meinung, Luft sei ein „permanent-elastisches" oder „incoercibles" Gas, unzutreffend ist. Nach dem nachgewiesenen Bestehen der, wenn auch geringen Molekularkräfte, hätte das allerdings immer schon sicher sein dürfen; denn Moleküle, die irgendwie merklich sich anziehen, müssen bei genügend tiefer Temperatur und also verringertem Molekülabstand, mit dann entsprechend vergrößerten Anziehungskräften auch zur Flüssigkeit und schließlich zum festen Körper zusammenhaften.

Zur Herstellung von flüssiger Luft in großem Maßstabe war das eben gedachte Verfahren und auch das der schon gebräuchlichen Kältemaschinen nicht gut geeignet; hier führte Joule's und Thomson's Versuch, in geeigneter Weise ausgebaut, zum Ziele. Zwar hatte dieser Versuch, bei dem das Gas im Kreise herumgepumpt wird, nur eine sehr geringe Erkaltung ergeben und man hätte ihn deshalb für gänzlich untauglich zum Ziel halten können; jedoch Joule und Thomson hatten nachgewiesen, daß die kleine Erkaltung beträchtlich zunimmt, wenn das Gas anfänglich schon kälter ist, was auch verständlich ist, weil in der Kälte die Moleküle dichter beisammen, die Molekularkräfte also größer

[1]) L. Cailletet in Paris; er hatte schon vor Andrews Messungen an Gasen bei hohen Drucken ausgeführt, die Van der Waals als Anhaltspunkte zu seiner Gleichung verwerten konnte.

sind. Dementsprechend wird der Kreisweg des Gases in den jetzigen Luftverflüssigungs-Maschinen so ineinander geschaltet, daß das am Ausdehnungsort erst ein wenig sich erkaltende Gas das neuheranströmende umgibt und dadurch vorkühlt. So steigert sich die Erkaltung nach Verlauf genügend langer Zeit bis unter die kritische Temperatur (—119° C bei Sauerstoff, —146° C bei Stickstoff), und von da ab liefert die Einrichtung fortdauernd flüssige Luft, wobei natürlich die abgezapfte flüssige Menge durch Nachpumpen neuer gasförmiger Luft von außen her stets ersetzt werden muß. Man braucht für 1 Liter flüssiger Luft etwa 1 Kubikmeter gasförmiger Luft, woraus der verhältnismäßig große mittlere Molekülabstand im Gaszustand unmittelbar ersehen werden kann. Das Gelingen dieses Verfahrens ist eines der vielen Beispiele dafür, daß jede Naturerscheinung — mag sie auch in so winziger Gestalt zuerst auftreten, daß sie mit Mühe nur entdeckt werden konnte — doch zu beliebiger Wirkung gesteigert werden kann, sobald man nur erst ihre Gesetze erkannt hat.

Nach der Luft haben auch Wasserstoff und das schwerst bezwingbare Gas, Helium, verflüssigt und zuletzt auch in festen Zustand gebracht werden können. War die dabei aufgewandte Mühe auch sehr groß, so sind doch keine neuen Grund-Erkenntnisse dabei aufgetreten. Jedoch hat die Erreichung der Verflüssigung dieser Gase das Mittel geboten, ganz neuartige Untersuchungen bei tiefsten Temperaturen auszuführen; denn hat man beispielsweise flüssiges Helium, so ist man auch sicher, andauernd eine Temperatur zu haben, die nicht über der kritischen dieses Stoffes liegen kann, —268° C, d. i. nur 5° über dem absoluten Nullpunkt, unter welchen hinab die Temperaturskala nicht geht, weil dort die Bewegung der Moleküle zum Stillstand kommt, also ihre lebendige Kraft, d. i. die Temperatur, Null wird.

Charles Darwin

(1809—1882)

und die Lebens-Erforschung vor und nach ihm.

Das Lebende ist erst spät Gegenstand der Naturforschung geworden. Hauptgrund hiervon ist gewiß die Scheu gewesen, Lebendes zu stören, zu verstören oder gar zu zerstören, wenn es nicht als Feind auftritt, eine Scheu, die gerade der zur Naturforschung geeigneten Menschenart ganz besonders innewohnt. Der „sachliche" Zweck der Wissensbereicherung genügt dem geistig hochstehenden Menschen nicht, um ihn mit dem Gedanken, ein Tier zu quälen oder auch einen Leichnam auszunutzen, zu versöhnen; was Leben trägt oder getragen hat, ist ihm in

allen Zeitaltern heilig gewesen. Wohl aber konnte das Hinzukommen einer weit höheren Absicht — nämlich der, durch erlangtes Wissen eben dem Leben zu helfen — schließlich Hochbegabte dazu gebracht haben, nachdrücklich zuzusehen, was im Innern von Tier und Mensch vor sich gehe. Die Heilkunde war es also, welche eine Wissenschaft vom Lebenden (Anatomie, Physiologie, Biologie) wirksam einleiten konnte, als es immer deutlicher geworden war, daß man ohne solche Kenntnis dem Leben nicht aufs Beste helfen könne. Gewiß war auch die ganz offenbare Verwickeltheit aller Vorgänge an lebendem Stoffe ein großes Hindernis, und dies mußte besonders abschreckend gewirkt haben, solange noch nicht einmal der einfache Vorgang des Herabfallens eines Steines in seinen Einzelheiten erfaßbar geworden war. Jedoch waren von Archimedes an bis Stevin nicht nur alle leblosen Maschinen schon wohlergründet, sondern sogar die Gesetze der Bewegung der Planeten in ihren Bahnen waren durch Kepler schon gefunden, als man noch immer vom Blutkreislauf in Tier und Mensch nur wenig, nichts Eingehendes wußte, ja fast allgemein an einen solchen Kreislauf gar nicht denken mochte. Erst ein Arzt, William Harvey (lebte 1578 bis 1657 in England), klärte die Blutbewegung genügend auf, mit dem Herz als einer zentralen Pumpvorrichtung (1628), sehr lange nachdem Wasserpumpen mit Rohrleitungen etwas Allbekanntes waren, während man aber für Herz und Adern noch immer recht verwickelten, unklaren Vorstellungen sich hingab[1]). Dies zeigt, wie langsam die Erforschung des Lebenden fortschritt. Das Beispiel kann aber auch zeigen, daß man lange nicht geneigt war, am Unbelebten bereits gewonnene Kenntnis auf Lebendes anzuwenden. Es war schon von alters her unverkennbar gewesen, daß das Lebende etwas Besonderes an sich hat — beim Menschen und den höheren Tieren als Freiheit des Willens so offenkundig —, was dem Unbelebten fehlt, und man suchte das Besondere wohl in so gänzlicher Verschiedenartigkeit der beiden Welten — der belebten und der unbelebten —, daß man nicht denken mochte, es gälten gleiche Naturgesetze für beide. Ähnlich war es, als man einst auch nicht geneigt gewesen war, für himmlische und für irdische Körper die gleichen Bewegungsgesetze anzunehmen, bis Newton unzweifelhaft hatte zeigen können, daß dem doch wirklich so ist. Wir haben oben, bei Behandlung des auf Newton folgenden Zeitalters bemerkt, daß die letztere Aufklärung bald in ungediegenen „Aufkläricht" sich wandelte, und dazu ge-

[1]) Siehe „Works of W. Harvey", London 1847, besonders S. 45, Kap. VIII. Harvey, der Arzt, brachte auch heraus, daß jedes Tier aus einem eiartigen Gebilde seinen Ursprung nehme („Omne animal ex ovo"). Die geschlechtliche Vermehrung der Pflanzen in ihren Blüten-Einrichtungen wurde erst etwa 60 Jahre später genügend festgestellt (Camerarius in Tübingen, 1694).

hörte es, nun bald auch das Belebte — ganz im Gegensatz zu früher — als reinen Mechanismus aufzufassen, gleich allem Unbelebten, ohne auch nur zu wissen, ob wirklich alles Unbelebte nur Mechanismus sei, wie man ihn von den materiellen Körpern her kannte. Zur Physik des Äthers war damals — durch Huygens — nur ein erster Anfang vorhanden. Immerhin war es richtig, weil unter allen Umständen nötig, daß man zunächst die körperliche Maschine des Lebenden allseitig zu erkennen und möglichst vollständig zu durchforschen suchte. Was darüber hinausgeht konnte von den Weiterblickenden, namentlich Ärzten, niemals ganz vergessen werden, mochte man es, wie schon Sokrates und Platon, dann Paracelsus, Descartes und Spätere, etwa Seele, Geist oder Archaeus oder „Lebenskraft“ nennen und mochte auch die gelehrte Anerkennung hiervon die weitestgehenden Schwankungen aufweisen[1]).

Die Erforschung des Mechanismus der Lebewesen benutzte alle Mittel und Kenntnisse, welche die Naturforschung überhaupt schon zur Verfügung gestellt hatte. Im Gröberen schritt man durch zwei Jahrhunderte von Harvey bis Wilhelm Weber vor, der — zusammen mit seinen Brüdern — zuerst die den Pulsschlag bedingende, vom Strömen des Blutes zu unterscheidende Blutwelle und die Mechanik der Gehwerkzeuge untersuchte. Im Feineren kamen Galilei's und Kepler's optische Errungenschaften in Gestalt von stetig verbesserten Lupen und Mikroskopen zur Anwendung — ausgehend von Torricelli's lange mit Erfolg benutzten, einfachen Glaskügelchen —, so daß auch kleinere Tiere nach innerer Einrichtung, Lebens- und Fortpflanzungsweise untersucht, kleinste entdeckt werden konnten. So schritten schon um 1650 Leeuwenhoek und Swammerdam[2]) zur Untersuchung der Verwandlungen der Insekten, zur Entdeckung der Blutkörperchen und der Infusorien vor, danach Malpighi[3]) zum Studium des feineren Baues der tierischen Organe, und 100 bis 200 Jahre später wurde der Aufbau alles Lebenden aus „Zellen“ klar, deren Inhalt mit Einzelheiten als wesentlicher Träger des Lebens sich zeigte[4]). Im Feinsten, bis auf die Atome eingehend, schritt die Untersuchung des Lebenden mittels

---

[1]) Eine lebendige, kurze Zusammenstellung hierüber aus der Geschichte der Medizin findet man in Paul Ernst's, des Pathologen, Vortrag „Wurzeln der Medizin“. Heidelberger Akademie 1928. (Verlag de Gruyter, Berlin.)

[2]) Leeuwenhoek lebte 1632—1723 in Holland, er benutzte nur einfache Lupen, die er selbst schliff. Swammerdam lebte 1637—1680 ebenfalls in Holland.

[3]) Malpighi, der Arzt und Universitätslehrer, lebte 1628—1694 meist in Bologna, schwer bekämpft von seinen Kollegen.

[4]) Hier erscheinen die sehr allmählichen Fortschritte fast ganz an die allmählichen Fortschritte in der Vervollkommnung der Einrichtung und des Gebrauchs der Mikroskope gebunden.

der von Scheele an über Dalton bis Davy und Berzelius im Wesentlichen schon gegebenen Kenntnisse der Chemie fort. Man lernte fortdauernd immer mehr neue Stoffe mit charakteristischen Eigenschaften kennen, die Pflanzen und Tieren entnommen und in reinem Zustand abgesondert hergestellt wurden. Hiermit hatte schon Scheele selbst ausgiebig begonnen, als er beispielsweise Weinsäure, Zitronensäure, Apfelsäure rein darstellen und voneinander unterscheiden lehrte. Man untersuchte dann diese Stoffe auf ihre Bestandteile und fand keine anderen Grundstoffe in ihnen, als nur die auch aus der unbelebten Natur schon bekannten, vor allem immer Kohlenstoff und daneben fast immer wieder nur Wasserstoff, Sauerstoff, etwa auch Stickstoff, sonst aber auffallend wenig weitere Elemente. Bei solcher Einförmigkeit kam es um so mehr darauf an, in der quantitativen Zusammensetzung die Unterschiede zu finden, wozu Berzelius und 25 Jahre später (1837) in verfeinerter Weise Liebig die gerade für den Fall jener besonderen wenigen Bestandteile geeigneten Wege bearbeitet hatten. Berzelius konnte schon zeigen, daß auch in den „organischen Verbindungen", wie man früh die Pflanzen- und Tier-Stoffe nannte, feste Mengenverhältnisse der Bestandteile statthaben, die nach Dalton in bestimmten Atomzahlen zum Ausdruck kommen. Es waren oft ziemlich große, dann schwer mit Sicherheit feststellbare Atomzahlen, auf die man da, als miteinander verbunden, kam; doch half allmählich die Erkenntnis des Wiederkehrens bestimmter kleinerer Atomgruppen als gemeinsamer Bestandteile der größeren, wodurch der Aufbau der letzteren ergründbar wurde, ohne auf die quantitative Analyse allein gewiesen zu sein und ohne Molekulargewichtsbestimmungen, für welche die von Gay-Lussac und Avogadro gewiesenen (so wie auch die später hinzugekommenen) Wege bei diesen „organischen" Körpern oft versagten. So kam man zur Kenntnis einer stets wachsenden Zahl aus immer noch mehr Atomen im Molekül in immer steigender Verwickeltheit aufgebauter Stoffe, was den Inhalt der „organischen Chemie" („Physiologischen Chemie") ausmacht. Diese Stoffe — sämtlich Verbindungen des Kohlenstoffes — waren teils aus Lebewesen entnommen, teils aber allmählich auch aus den Elementen ohne jede Zuhilfenahme des Lebens „künstlich" aufgebaut, dem Leben gewissermaßen nachgemacht[1]), und man machte so schließlich viel mehr Stoffe — wenigstens einfacherer Art — als überhaupt in Pflan-

[1]) Ein besonderes Beispiel hiervon, das man öfter als Markstein des Vordringens der Chemie zum Lebenden — unter Ausschaltung einer „Lebenskraft" — hingestellt findet, ist die Herstellung von Harnstoff ohne Harn, die Wöhler (aus Berzelius' Schule) 1828 in Berlin gelang. Es ist dabei aber zu bedenken, daß Harnstoff nirgends als Träger von Leben auftritt; er ist ein Abfallstoff des Lebens und ist so tot, wie Kohlensäure oder Wasserdampf und wie alle bisherigen Erzeugnisse der Chemie.

zen und Tieren auffindbar waren. Jedoch, die größten, atomreichsten Moleküle, welche auch der heutigen Chemie noch sehr viele Fragen geben, finden sich immer im lebenden Stoffe; sie bilden offenbar den lebenswichtigsten materiellen Inhalt der Zellen.

Überblickt man hiernach alles, was Naturforscher am Lebenden im Einzelnen ergründet haben, so bietet sich wenig grundlegend Neues. Neue Grundkenntnis über die Naturbeschaffenheit liegt nur darin, daß man auf allergrößte, ungeheuer atomreiche Moleküle gewiesen ist als den Sitzen des Lebens mit seinen so wunderbaren, ihrem Ursprunge nach ganz offenbar außerhalb des Rahmens aller bisherigen Naturforschung fallenden Erscheinungen. Alles Übrige, was in den Lebewesen an diesen Sitzen hängt und von diesen aus vor sich geht, ist aus der Erfahrung am Unbelebten mehr oder weniger verständlich geworden: Man erkennt, daß jene Sitze in mannigfaltigster Weise all der Vorgänge sich bedienen, welche die Physik der Materie und des Äthers schon kennen gelehrt hat, um alles rein steuernd (auslösend) zu bewirken, was im Lebewesen vor sich geht. Vieles dabei ist ganz grober Mechanismus, nicht hinausgehend über die Kenntnisse der Physik der Materie, z. B. das Hebelwerk der Knochengerüste, die Pumpeinrichtung des Herzens. Im Feineren, z. B. bei der Fortleitung des Nervenreizes sind elektrische Vorgänge als mitwirkend erkannt; der arbeitende Muskel ist unzweifelhaft ein Molekular-Mechanismus, wirkend durch die auch am Leblosen zu studierenden Atom- und Molekular-Kräfte, deren mindestens teilweise elektromagnetische Natur Erforschungsgegenstand der Physik des Äthers ist. Das Besondere ist nur wieder, daß die Entstehung und immer wieder erneute Bildung solcher wohlgeordneter, in Nerv und Muskel wirkender Molekular-Mechanismen, ja überhaupt schon die Herstellung der dazu benötigten Moleküle aus leblosen Atomgruppen, wie die Nahrungsmittel sie den Lebewesen liefern, nur mit Gegenwart jener Lebenssitze erfolgt. Nie ist solches — nie ist also Leben überhaupt — ohne vorgegebenen Lebenskeim, geliefert von einem lebenden Organismus[1]), beobachtet worden.

[1]) Es sei hierzu hier eine Einsicht angegeben, welche dem Verfasser seit mehr als 30 Jahren auf Grund der Überlegung dessen, was man vom Leben weiß, sich ergab, welche aber wohl Jedem sich bieten muß, der — den gesamten Inhalt der Physik der Materie und des Äthers vor Augen — als erste Aufgabe der Naturforschung beim Vordringen zu Neuem die Erlangung von Vorstellungen, „Begriffen" sieht, die dem tatsächlichen, beobachtbaren Naturgeschehen so angepaßt sind, daß es damit möglichst begreifbar wird. Die so gewonnene Einsicht läßt Neuentstehen von Leben — die bisher stets vergeblich gesuchte Urzeugung (Generatio aequivoca) — ganz möglich erscheinen, sobald genügend atomreiche, geeignete Moleküle verfügbar werden und in geeigneter, Stoffwechsel ermöglichender Umgebung sich befinden. Was zu dem durch solche Moleküle

Besonders bemerkenswert ist, daß das allgemeine Gesetz der Energieerhaltung an allen Lebewesen befolgt gefunden worden ist, worauf schon Robert Mayer eingehend achtete. Er spricht es schon aus, daß der Muskel die ihm durch das Blut zugeführte chemische Energie der Nahrungsmittel unmittelbar in mechanische Energie umwandelt, während die Dampfmaschine und alle ähnlichen Motoren den Umweg über die Wärme einschlagen. Die Erkenntnis des 2. Hauptsatzes der Wärmetheorie, von Carnot, Clausius und W. Thomson, hat dies zur Gewißheit gemacht; denn es fehlen im Muskel die Temperaturunterschiede, welche für die Wirkung der Wärmemotoren wesentlich sind und die ihren Wirkungsgrad bestimmen. Der Wirkungsgrad der molekularen Muskel-Maschine ist dementsprechend sogar höher als der der besten Wärmemotoren.

Was neben der Erkenntnis, daß das Leben in letzter Linie an besondere Moleküle gebunden ist, die in mikroskopisch sichtbaren Gebilden in den Zellen enthalten sind, und daß die Lebenserscheinungen außer eben diesem großen Geheimnis grundsätzlich Neues nicht bieten, durch allen Fleiß von Beobachtern noch gefördert worden ist, ist zumeist eine fast unübersehbare Fülle von Einzelerkenntnissen, die Pflanzen- und Tier-Arten, ihre Beschaffenheit und ihren Lebenslauf betreffend. Hierbei ist übersichtliche Ordnung von höchster Wichtigkeit. Als erster großer Ordner und Wissens-Zusammenfasser im Reiche des Lebenden auf Grund eigener Beobachtung ist zu früher Zeit — aber doch erst 50 Jahre nach Newton's „Principia" — Carl Linnaeus (Linné)

gegebenen Körper noch notwendig ist, damit er lebe, ist ein dazu passender Geist. „Geist" ist dabei ein Name für „das zum Leben offenbar über das Materielle hinaus Erforderliche", ein Name, der hilft, den erfaßten Begriff, das Entdeckte — Unbekannte, aber doch Daseiende — festzuhalten, um es, soweit möglich, aus Erfahrung weiter zu untersuchen. Es ergibt sich dabei, daß man Geister vieler Art im Raume vorrätig annehmen muß und daß sie die Eigenschaft haben, mit geeigneten, zu ihnen passenden Molekülen, sobald sie solche finden, sich zu verbinden, wodurch dieselben zu Lebewesen oder zu Keimen von solchen werden, die — bei geeigneter Umgebung — dem Geiste entsprechend, von ihm geleitet, sich entwickeln, bis — beim Tode des Lebewesens — der Geist wieder in den Allvorrat abgeht. Dies sind Vorstellungen, die jedenfalls einem Begreifen des Lebens, mit seinem Kommen und Vergehen von immer wieder neuen und auch neu gearteten Lebewesen und mit seinen so offenbar über alles an lebloser Materie und am Äther Beobachtete hinausgehenden Erscheinungen, angemessen sind, und die auch weitere Erforschung des Lebens, zunächst wohl am meisten des immer noch vorauszusetzenden submikroskopischen, zugute kommen könnten, ganz unbeschadet aller weiteren Verfolgung dessen, was mehr unmittelbar den Sinnen zugänglich ist. Etwas weiter ausgeführt finden sich diese Gedanken in der „Deutschen Physik" (an den unter „Geist" und „Leben" angegebenen Stellen des Verzeichnisses des 4. Bandes).

aufgetreten. Er wurde im Jahre 1707 als erster Sohn eines Landgeistlichen in der Nähe von Vexjö in Südschweden geboren, studierte zuerst in seiner Heimat, später in Holland Medizin — immer aber besonders der Beschäftigung mit Pflanzen zugewandt — und wirkte dann in Stockholm, wo er heiratete, als praktischer Arzt, bis er 1741 eine pas-

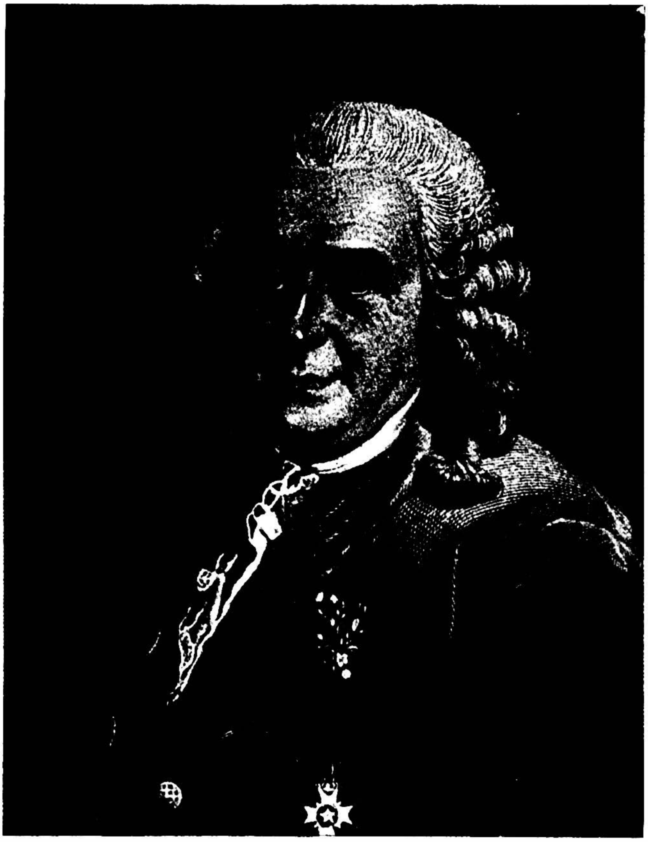


Bild 59. Carl Linné.

sende Professur und den botanischen Garten zu Upsala erhielt, wo bis an sein Ende die Hauptstätte seiner Wirksamkeit blieb. Immer wieder, auch schon in früher Jugend, war er aber auf Forschungsreisen gewesen, als unermüdlicher und umfassendster Naturbeobachter und Sammler von Pflanzen, Tieren und Mineralien, was ihn, mit Ergänzungen durch reiche Literaturstudien, zu einem unvergleichlichen Kenner aller Arten von Lebewesen werden ließ. In späteren Jahren — mit schon

berühmtem Namen — wurde er dabei noch durch viele Sendungen von Naturgegenständen aus allen Erdgegenden unterstützt. Mit seltener Fähigkeit zu großem Überblick begabt, konnte er so in mehreren großen Werken eine Einteilungs- und Benennungsweise sämtlicher Lebewesen schaffen, welche, alsbald allgemein angenommen, für Botanik und Zoologie wie eine Neuschöpfung ihres gesamten Inhalts wirkte. Jetzt hatte alles, was lebte, feste Namen, war in Klassen, Ordnungen, Gattungen, Arten und Varietäten gewiesen; es war volle Übersicht in unabsehbar gewordenes Gewirre von Einzelkenntnissen gebracht; den Wissenschaften vom Leben war zugleich eine zweckmäßige Kunstsprache gegeben, die tatsächlich Vorbedingung für alles weitere Gedeihen war, weil so erst ein Botaniker oder Zoologe dem anderen unmittelbar verständlich wurde. Groß war daher auch die Anerkennung, welche Linnaeus — als Linné geadelt — sogar schon bei Lebzeiten fand; Schwedens Königin, Schwester Friedrichs des Großen, und auch deren Sohn (Gustav III.) verehrten und förderten ihn besonders. Er starb 1778, 71 Jahre alt.

Die Aufgabe des großen Ordners war Linné von vornherein zugefallen durch die ihm gegebene besondere Art, als unbeschränkt aufnahmefähiger und inniger Bewunderer der gesamten belebten Welt gegenüberzustehen. Er war stets voll Staunens über Tiere und Pflanzen; er lebte und dachte mit ihnen; sie waren ihm nicht bloß mit äußerlichen Kennzeichen begabte Gebilde, wenn er auch nach solchen Kennzeichen sie klassifizieren mußte um für alle verständlich zu sein. Als in seinen ältesten Tagen ihm mit abnehmenden Körperkräften die von ihm selbst gewählten Namen der Pflanzen entfallen waren, war ihm doch jener Grundzug geblieben: das bewundernde Staunen vor der Schöpfung, die „curiositas naturalis“, wie er es nannte[1]).

Es wäre aber verfehlt, Linné nur als den großen Ordner hinzustellen, wie es später lange Zeit hindurch geschehen ist[2]). Sind auch seine Werke in erster Linie der Systematik gewidmet, so findet sich in denselben doch außerdem eine Fülle besonderer Beobachtungen und weitergehender Gedanken mitgeteilt, und ebenso wirkte er auch im weiten Kreise seiner Schüler[3]). Beispielsweise sieht er schon zu so früher Zeit kleinste Lebewesen als Ursache der ansteckenden Krank-

[1]) Man sehe die eingehende Würdigung von Linné's Leben und Arbeit in dem sehr verständnisvoll geschriebenen Werk von Knut Hagberg „Carl Linnaeus, ein großes Leben aus dem Barock“, Goverts Verlag Hamburg 1940.

[2]) Hier verdanke ich eingehende Hinweise Herrn Professor E. Almquist in Stockholm.

[3]) Man findet Vieles in Linné's „Philosophia botanica“ (Stockholm 1751) und in den von Gieseke herausgegebenen „Prälectiones Caroli a Linné“ (Hamburg 1792).

heiten an, wofür er nicht wenige, treffende Gründe aufzählt[1]). Besonders hervorzuheben ist, daß Linné aus der auf Reisen gesammelten Erfahrung und durch ausgedehnte Züchtungsversuche an Pflanzen unter möglichst abgeänderten Bedingungen, Boden und Klima betreffend, von der erstaunlichen Unveränderlichkeit der vorhandenen Arten eingehend sich überzeugte, daß er aber diese Unveränderlichkeit doch nicht für unbegrenzt hielt. Er hat Bastardbildung bei Pflanzen im botanischen Garten beobachtet und absichtlich hervorgebracht, unfruchtbare und fruchtbare Bastarde studiert, und hat in solchem Entstehen abgeänderter Pflanzenformen einen Fingerzeig zu vielleicht möglichem Verstehen eines Auftretens neuer Arten im Laufe langer Zeiten gesehen[2]). Außerdem sieht er überreichlich günstige Lebensbedingungen als besondere Ursache des Auftretens von Neubildungen an. Man bemerkt, wie sehr zu Unrecht Linné's großes Verdienst, die weitgehende und ganz allgemeine Beständigkeit der Art-Formen, die Grundlage aller Systematik der Pflanzen- und Tierwelt, festgestellt zu haben, allmählich in späteren Zeiten ihm fast zum Vorwurfe wurde, als hätte er nicht weiter sehen wollen, ja als wäre sogar eine Verfechtung gänzlicher Unveränderlichkeit der Arten seine Besonderheit gewesen. War es nicht allein schon eine besonders wirksame Vorbereitung späterer Gedanken, daß er gute Gründe fand, „homo sapiens" einfach in das Tierreich einzuordnen? Und ist man nicht auch heute noch weit hinter Linné zurück, wenn man sich scheut, Menschenrassen und deren Unterscheidungs- und Zuchtnotwendigkeit anzuerkennen, während man doch bei allen Haustieren Besseres weiß?

Ein zweiter großer Ordner erschien 100 Jahre später: Charles Darwin; doch war auch er weit mehr als nur Ordner. Sein großer, neuartiger Überblick alles Lebenden geht nicht mehr vom fertigen Leben aus, wie es der Gegenwart sich darbietet, sondern er fußt auf einer Anbahnung des Verstehens eines allmählichen Werdens des Lebens auf der Erde, einer Aufwärtsentwickelung von einfachsten zu immer höher ausgebildeten Formen der Lebewesen.

Die allgemein verbreitete und als geltend betrachtete Anschauung, welche Darwin vorfand, nahm — trotz Linné's schon weiter gehen-

[1]) Die sehr vielseitigen Verdienste Linné's finden sich eingehend gewürdigt in dem von der schwedischen Akademie herausgegebenen Bande „Carl von Linné's Bedeutung als Naturforscher und Arzt" (Verlag Fischer in Jena, 1909). Man sehe besonders die Seiten 149—188 in Teil IV.

[2]) „Plantas hybridas wagte er zu proklamieren und gab der Nachwelt eine Hinweisung auf specierum causam" sagt Afzelius in dem von ihm im Jahre 1823 herausgegebenen und mit Anmerkungen und Zusätzen versehenen „Eigenhändigen Aufzeichnungen Linné's über sich selbst". Deutsche Ausgabe 1826, S. 83.

den Gedanken — die verschiedenen Arten von Lebewesen als etwas von Anbeginn her in ihren bestimmten Formen auf die Erde Gestelltes, das von da ab nur immer gleichbleibend sich fortpflanzte. Man hatte indessen bei Grabungen in der Erdrinde schon versteinerte Reste von Tieren gefunden, deren Formen von denen heutiger Tiere abweichen, und es war je nach dem Übereinanderliegen der Gesteinsschichten auf verschiedenes

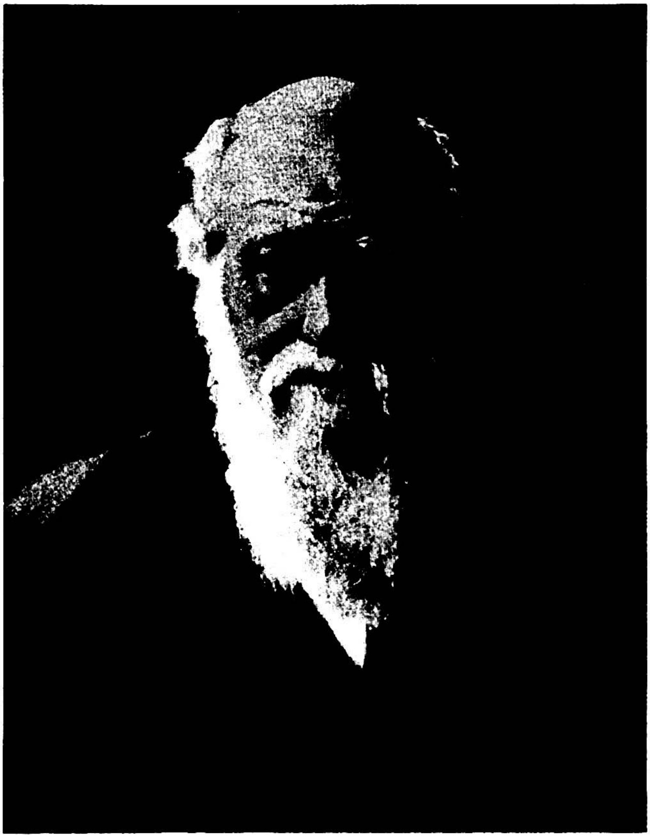


Bild 60. Darwin. Nach dem Gemälde von Collier[1]).

Alter dieser Reste zu schließen. Da hatte sich gezeigt, daß im Laufe der Zeiten gewisse Formen ausstarben, andere neu auftauchten, als hätten sie einander allmählich abgelöst. Damit war ein an aufeinander folgende Zeitalter der Erdgeschichte gebundenes Auftreten und damit fast eine allmähliche Entwickelung der verschiedenen Arten von Lebe-

[1]) Das Original in der National Portrait Gallery in London zeigt blaue Augenfarbe.

wesen nachgewiesen[1]), und damit war für Darwin jener Gedanke gegeben, der das Wunder der Lebenserscheinungen in Verbindung zeigte mit dem allerdings noch größeren Wunder der Entstehung des Lebens auf diesem Planeten. Der Gedanke ließ es möglich erscheinen, durch die Mittel der Naturforschung diesen Wundern näher zu kommen, auf einem Weg also, der nur Feststellungen von Wirklichkeiten erstrebt und der so vieles Unbegreiflich-scheinende schon enthüllt hatte, nicht ohne freilich hinter jedem begreiflich gemachten Wunder von selber ein noch größeres Wunder gezeigt zu haben, ganz wie es der Stellung des begrenzten Menschengeistes der gesamten Natur gegenüber entspricht.

Diesen Weg der Naturforschung jenen Wundern gegenüber hat Darwin mit größter Beharrlichkeit beschritten durch Beibringung einer unerhörten Fülle zusammengehöriger Tatsachen, die, wohlgeordnet, alle in einer Richtung zeigten: Dahin, daß das Leben auf der Erde aus kleinen Anfängen allmählich zu immer höheren Formen und immer größerer Mannigfaltigkeit aufsteigend, im Laufe der langen Zeiten seit genügender Abkühlung der Erdoberfläche sich entwickelt habe, und zwar infolge steten Auftretens von geringen Veränderungen in der Nachkommenschaft der Lebewesen, zusammen mit dem Wirken steter Auswahl der geeignetsten, der Umwelt am besten standhaltenden Formen — zu weiterer Fortpflanzung — mittels der Vernichtung ungeeigneter Formen in dem steten Kampfe mit der Umwelt, der in der Tat Kennzeichen aller Lebensentwicklung ist. Diesen umfassenden Gedanken entwickelt Darwin allseitig in seinem im Jahre 1859 erschienenem Werke „On the origin of species“ („Über den Ursprung der Arten“). Um der Unermüdlichkeit willen, mit welcher er alles für und wider denselben Sprechende untersucht und ganz allein nach Wahrheit strebend abwägt, und weil der so mit der beigebrachten Fülle von Tatsachen zusammenhängende Gedanke entsprechend fruchtbar, für das weitere Fortschreiten der Erkenntnis vom Leben in hohem Maße förderlich geworden ist, haben wir Darwin als einen überragenden Erforscher des Lebens in gleiche Reihe mit den großen Forschern gestellt, die wir aus den vorhergegangenen Zeiten an uns vorüberziehen ließen.

Charles Darwin, aus wohlhabender Landbesitzer-Familie stammend, war zu Shrewsbury im westlichen England als fünftes Kind eines Arztes geboren[2]). Er war von Anfang stets eifriger Beobachter

[1]) Schon Lamarck hatte aus dieser Erkenntnis und aus anderen Gründen in seiner „Philosophie zoologique“ (Paris 1809) aufs Entschiedenste die Annahme der Unveränderlichkeit der Tier- und Pflanzen-Arten als unhaltbar zu zeigen sich bemüht.

[2]) Vgl. zum Folgenden: „Leben und Briefe von Ch. Darwin“, herausgegeben von seinem Sohne Francis Darwin. (Deutsche Übers. Stuttgart 1887.)

aller Arten von Lebewesen und zeigte sich für alle Wissenschaften lebhaft interessiert. Als er die Universitäten zu Edinburgh und Cambridge besuchte, um Medizin, dann Botanik, auf den Wunsch des Vaters auch Theologie zu studieren, benutzte er die Gelegenheiten des Universitäts-Lebens zu allermeist in freier Weise und verschaffte sich nach eigenem Ermessen eine vielseitige Ausbildung. Mit 22 Jahren schloß er sich — durch das Studium von Humboldt's Werken von dem Wunsche ergriffen, die Tropen zu sehen — einer Erdumsegelung auf einem kleinen Schiffe an, die 5 Jahre dauerte. Von dieser brachte er so reiche Erfahrung und eine solche Fülle gesammelter Tiere und Pflanzen mit, daß deren Bearbeitung ihn viele Jahre hindurch beschäftigte. So begann sein arbeitsreiches und von da ab sehr zurückgezogenes Leben, erst in einem kleinen Hause zu London, dann dauernd auf einem Landgut, das er — inzwischen verheiratet — erwarb und zu einem schönen Wohnsitz mit Garten, Park und Gewächshäusern gestaltete. Bald kam ihm der Gedanke, daß wohl etwas über den Ursprung der Arten ergründet werden könnte. Nach 5jährigem Sammeln zugehöriger Tatsachen gestattete er sich eingehendere Überlegungen hierzu, die ihn nach zwei weiteren Jahren zu den ersten bestimmten Schlüssen führten, die er für wahrscheinlich hielt und dann steter weiterer Prüfung unterwarf. Erst nach weiteren 15 Jahren erfolgte die Veröffentlichung seines schon genannten Werkes. Viele vor- und nachher von ihm erschienene besondere Abhandlungen und Werke, die reichlich neue Beobachtungen, auch Pflanzen- und Tierzuchtversuche und dazugehörige neue Gedanken bringen, in näherer und fernerer Beziehung zu jenem besonderen Werke stehend, können hier — ohne Aufzählung im Einzelnen — nur erwähnt werden. So war Darwin's Leben trotz wenig kräftiger Gesundheit von steter Forscherarbeit erfüllt, bis ihm mit 73 Jahren das Ziel gesetzt war. Wie Newton, Watt und Lord Kelvin ist auch er in der Westminster-Abtei zu London beigesetzt worden. Ein besonders schönes Denkmal für ihn ist die große Halle des „Natural History Museum" zu London, wo ein gewaltig großes Marmorbildwerk ihn sitzend zeigt inmitten der reichen Schaustellungen aus der Pflanzen- und Tierwelt, deren so wunderbare und erstaunlich mannigfaltige Formen er in ganz neuen Zusammenhängen und mit weit vertieften Gedanken betrachten gelehrt hat und die nun, mit erschauter Vorgeschichte, als große, zusammengehörige Familie mit Blutsverwandtschaften — von entfernten Voreltern her — erscheinen kann, bis hinauf zum betrachtenden Menschen.

Darwin's Werk erfuhr nach anfänglichem, zum Teil heftigem Widerspruch reiche Anerkennung, die Darwin selbst noch erlebte. Es folgten dabei aber auch Übertreibungen mit neuem Anschwellen von Stoffwahn (Materialismus), indem man in einer Darwin und seinen

Werken ganz fremden Weise[1]) es scheinen ließ, es wäre nun nichts Verborgenes mehr zu suchen. Es mag hierzu beigetragen haben, daß eben zu Darwin's Zeit die unterschiedslose Gültigkeit des Energiegesetzes für lebende wie für leblose Stoffe schon gut gesichert war, so daß nun den wenig tief Blickenden die Gesamtwelt als ein nach durchaus bekannten Gesetzen ablaufender Mechanismus erscheinen konnte, der nur mehr in einigen Einzelheiten weiter zu untersuchen sei und dessen uneingeschränkte Ausnutzung jetzt des so aufgeklärten Menschen wohlerworbenes Teil sei. Wer könnte aber — mit allen gefundenen Naturgesetzen wohlvertraut, doch nicht ganz verdorrt — auch nur etwa eine Pflanze im Frühling erblühen sehen und das Treiben der fliegenden Insekten, die sie anlockt, und dies — mit Allem, was dabei zum Bewußtsein kommt — nicht als Zauber erkennen ganz unähnlich dem öden Mechanismus, den jene Köpfe sich vorstellten! — Dem Leben weiter beizukommen dürfte große Bescheidenheit erfordern.

In der Tat war es wieder — wie bei den großen Forschern aller Zeiten — stille Hingebung an die Natur mit größter Geduld, bei völligem Mangel an Geltungsbedürfnis, was nach Darwin wieder neuen Fortschritt brachte. Der Augustinermönch Johann (genannt Gregor) Mendel vereinigte diese Eigenschaften in sich; er griff dort an, wo Darwin es am meisten fehlen sah: „Die Gesetze, welche die Vererbung beherrschen, sind ganz unbekannt"[2]). Mendel hat durch Vererbungsstudien an geeigneten Lebewesen den Weg zur Erkenntnis dieser Gesetze eröffnet und hat selbst bereits wesentliche, sogar in Zahlenbeziehungen faßbare Ergebnisse erreicht, deren Verfolgung noch viele Forscher weiter beschäftigt. Man weiß jetzt durch Mendel, daß die, besonders in dem der freien Natur entzogenen Leben so sehr sich häufenden Bastardbildungen („Kreuzungen") keine unlösbare Vermischung, keine Verwischung der Eigenschaften der Eltern bedeuten, sondern daß jedes Lebewesen alle Eigenschaften, die es selbst geerbt hat,

[1]) Es mag manche in bezug auf Darwin's Geist irregeführt haben, daß es ihm am Schluß seines Werkes über den Ursprung der Arten zufiel, mit der von ihm vorgefundenen, allgemein verbreiteten Auffassung von der vollständigen Unveränderlichkeit der Arten und von deren Zustandekommen im Sinne einer Schöpfungsgeschichte, wie sie das „Alte Testament" bietet, abzurechnen. Dies als ein Umstürzen wertvollen geistigen Besitzes anzusehen und in solchem Sinne weitergehend nachzuahmen, solche Verkennung Darwin's, gegenüber dem Geist des Wahrheit-Suchens, der aus seinem ganzen Leben und aus allen seinen Schriften spricht, ist wieder nur ein Teil des nun weit über tausendjährigen Unsegens, den das „Alte Testament" — als Quelle erbaulicher Erkenntnis und geistiger Erhebung hingestellt — über den lichtsuchenden Teil der Menschheit gebracht hat.

[2]) Darwin, „Origin of species", London 1859, S. 13.

einzeln unverändert weitergibt, wenn auch nicht alle auf alle Nachkommen, da beide Eltern hierin sich teilen, und wenn auch oft in unsichtbarer Weise. Neue Arten von Lebewesen — auch neue Rassen — entstehen demnach durch Bastardierung nicht, nur mosaikartige, doch in bestimmter Weise gesetzmäßige Zusammenstellungen von Eigenheiten kommen zustande, die auch wieder zerfallen können. Geeignete fortgesetzte Zuchtwahl kann — einmal vorhandene — erbliche Eigenschaften aus Bastarden wieder herauszüchten, so wie sie auch Eigenschaften zum Verschwinden bringen kann.



Bild 61. Johann Mendel.

Mendel's durch Züchtungsversuche erhaltene Ergebnisse haben sich in bedeutungsvoller Übereinstimmung gezeigt mit den Ergebnissen mikroskopischer Forschung über den Inhalt der Körperzellen und der Geschlechtszellen der Lebewesen. So kann das Studium der allerkleinsten, mikroskopisch noch formgerecht abbildbaren lebenswichtigen Gebilde, der Zellkerne — und vielleicht schließlich auch das der sie zusammensetzenden, einzeln nicht sichtbaren Atomgruppen — in Verbindung kommen mit dem Studium der an den großen, mit Gesamtgeist versehenen Zellstaaten, den entwickeltsten Lebewesen bekannten Vererbungs-Eigentümlichkeiten, wie die Rassenkunde sie schon zusammenfaßt. Dies gäbe vielleicht weiter Aussicht, der großen Frage näher zu kommen, wie es befriedigender als seit Darwin und erst recht seit Mendel zu denken sei, daß in der Reihe der Aufwärtsentwicklung der Lebewesen auf Erden immer wieder ganz neue, von keinen Voreltern geerbte und dann doch erbliche Eigenschaften aufgetreten sind, eine Frage, die allerdings — so weit zu sehen — aus der materiellen Welt allein nicht wird beantwortet werden können.

Solchen fernen Zielen werden aber wieder nur so ganz unbefangene Geister, wie Mendel es war, wesentlich sich nähern können. Es

müssen Forscher sein, die fähig sind, erkennbar gewordene Tatsachen aller Art in vollem Umfange in sich aufzunehmen und wieder wie Darwin oder Mendel in Verborgenheit beharrlich zu verarbeiten und zu vermehren, weit davon entfernt, mit den „Ismen" sich abzugeben, in welche kleine Geister die ihrem Fassungsvermögen entsprechenden Bruchstücke der Errungenschaften der Großen zur Erstarrung zu bringen pflegen, sondern vielmehr eben in jener Unbefangenheit die Wege ihres eigenen, von unmittelbarer Tatsachenkenntnis geleiteten Geistes gehend.

Johann Mendel war 1822 in einem kleinen Dörfchen im damaligen Mähren an der schlesischen Grenze als Sohn einfacher Bauersleute geboren. Er sollte den kleinen Landbesitz seines Vaters übernehmen; doch die so gewonnene Vertrautheit mit dem Pflanzenleben erweckte in dem Knaben den Wunsch nach wissenschaftlichem Studium, den die Eltern schwer gewährten und nur mit großen Opfern zu erfüllen vermochten. Der Direktor des Gymnasiums, welches Mendel dann besuchen durfte, war Augustiner-Priester; er dürfte ihn auf den Gedanken gebracht haben, sich ebenfalls dem Mönchs-Leben zu widmen, das so große Muße zu wissenschaftlicher Tätigkeit und geistige Abgeschlossenheit gewährt. Mit 21 Jahren wurde er im Brünner Augustinerstift mit dem Namen Gregor eingekleidet. Er hatte nun — nach absolviertem Theologie-Studium — auch die Möglichkeit, an der Universität Wien Botanik, Physik und Chemie zu studieren, wo auch Doppler unter seinen Lehrern war. Im Lehramtsexamen war er — offenbar wegen zu großer Unbefangenheit — durchgefallen; dennoch konnte er von 1854 an durch 14 Jahre als vortrefflicher Lehrer der Naturgeschichte und Physik an der Oberealschule in Brünn wirken. In diese Jahre fallen auch seine wichtigen Züchtungsversuche, meist an Erbsen und Bohnen, wofür ihm der Klostergarten zur Verfügung stand. Im Jahre 1868 wurde er zum Abt seines Stiftes erwählt; die damit übernommenen Pflichten, welche er — wie einst Kopernikus in ähnlichem Amte — unter sehr schwierigen Umständen aufs treueste erfüllte, brachten seine wissenschaftlichen Forschungen zu verfrühtem Stillstand. Er starb, 1884, 62 Jahre alt[1]). Die von ihm lange zurückgehaltene Veröffentlichung seiner Ergebnisse erfolgte nur in großer Kürze und an versteckter Stelle[2]); sie wurde daher auch lange Zeit übersehen. Erst vom Jahre 1900 an war die Bedeutung und außerordentliche Wichtigkeit der von ihm gewonnenen Einsichten allenthalben klar geworden; sie wirkt nun noch dauernd weiter.

---

[1]) Mendel's Leben ist eingehend geschildert von Dr. Hugo Iltis (Berlin 1924).

[2]) Gregor Mendel, „Versuche über Pflanzenhybriden", Verhandlungen des naturforschenden Vereins in Brünn, 1866 und 1870; jetzt in „Ostwalds Klas-

Robert Wilhelm Bunsen (1811—1899)
Gustav Kirchhoff (1824—1887).

Bunsen und Kirchhoff, „Spektralanalyse" mit dem Ruhm einer großen neuen Geisteserrungenschaft und „Alt-Heidelberg du Feine" in der Zeit, da dieses Lied neu war und aus dem Eindruck der Wirklichkeit noch entstehen konnte, sind eine Zusammengehörigkeit, die — soviel auch schon darüber hingegangen ist — unvergessen ist und es wohl auch bleiben wird. Zwei seltene Forschergeister fanden sich da im ergiebigsten Teil ihrer Lebenszeit vereint; sie haben in glücklicher gegenseitiger Ergänzung einen neuartigen Weg zu Einsichten gefunden, die wieder weit über Bekanntes hinaus und auch — was seit Newton kaum mehr so erfolgt war — wieder über Erde und Sonnensystem hinausführten in den Himmelsraum, bis zu einer stofflichen Untersuchung (chemischen Analyse) fernster Gestirne, von welchen bis dahin nur eben die im Fernrohr ausmeßbaren Ortsveränderungen verfolgbar waren, während alle Fragen über ihre innere Beschaffenheit unergründlich geblieben waren. Zu solchen Möglichkeiten gelangten Bunsen und Kirchhoff, indem sie Newton's und Fraunhofer's optische Untersuchungen, die in den letzten 45 Jahren nicht wesentlich fortgeführt worden waren, wieder aufnahmen, nun ausgehend von den Fragen der Emission (Aussendung) und der Absorption (Verschluckung) des Lichtes.

Es war bekannt, daß heiße Körper unter etwa 600° C nur die von Scheele schon erkannten dunkeln Wärmestrahlen, das Ultrarot, aussenden und daß bei steigender Temperatur allmählich Rot hinzukommt (Rotglut), bis endlich das ganze sichtbare Spektrum ausgesandt wird (Weißglut). Feste und flüssige Körper zeigen hierin im Allgemeinen keine großen Unterschiede; jedes Stück glühender Kohle läßt alle diese Erscheinungen gut beobachten. Anders verhalten sich jedoch heiße, glühende Gase oder Dämpfe, wie man sie in Flammen hat; diese können bei genügend hoher Temperatur statt weiß farbig glühen und zwar in Farben, die gar nicht so sehr von der Temperatur, sondern vielmehr von der stofflichen Beschaffenheit des Gases oder Dampfes abhängen. Die Feuerwerkerei benutzte das längst, indem sie Flammen fast beliebiger

sikern" abgedruckt (4. Auflage, Leipzig 1923). Briefe von Mendel (aus den Jahren 1866 bis 1873), die auch zeigen, wie wenig leicht seine Gedanken von damaligen Fachleuten erfaßt wurden, wie wenig also auch Darwin's oben angeführte Mahnung verstanden war, selbst von denjenigen, die meinten, etwas wie Darwin's Lehre („Darwinismus") vertreten zu müssen, sind in den Abhandlungen der Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften veröffentlicht worden. Band 51, 1906, S. 187.

Farbe hervorbringt, wofür es stets eine große Menge von Vorschriften gab; außerdem war auch bekannt, daß die an sich wenig leuchtende Alkoholflamme farbig leuchtend wird, wenn gewisse Stoffe in sie gebracht werden. Besonders Gelbfärbung trat in der Alkoholflamme stets sehr leicht auf, oft aber sogar ohne erkennbare Ursache, so daß man über den Ursprung dieser Färbung im Zweifel war. Es fehlten hier reine Versuche, die alles Zufällige, Ungewollte mit Sicherheit ausschließen, um die wahren Ursachen beobachteter Wirkungen erkennen zu lassen. Erst wenn dies für diese Flammenfärbungen erreicht ist, würden dieselben beispielsweise auch als Nachweismittel für bestimmte Stoffe brauchbar sein können. Bunsen war der Forscher für solche Aufgaben; ihm genügte nichts Unsauberes oder Halbes, und er war zugleich unbegrenzt erfinderisch in der Schaffung neuer Mittel zur Befriedigung seines Gründlichkeitsbedürfnisses und ganz unermüdlich in Verfolgung noch so mühsamer Wege zu klarem Ziele. Sein Bemühen um die farbigen Flammen hat dementsprechend — und glücklich vereint mit Kirchhoff's Einsicht in Alles, was von Newton und Fraunhofer bis Clausius schon ergründet war — zu weit mehr geführt, als nur zu einer chemischen Analyse mittels Flammenfärbungen.

Zu reinen Versuchen mit Flammen war vor allem eine rein brennende Flamme erforderlich; die Alkoholflamme mit ihrem Docht, der allerlei Störungen mit sich brachte, war das nicht. Auch sonst war für allerlei Zwecke des Laboratoriums schon eine Flamme erwünscht gewesen, deren Eigenschaften man zuverlässig regelbar in der Hand habe. Das in England damals schon seit 50 Jahren in Gebrauch befindliche Leuchtgas schien dazu von vornherein weit geeigneter als der Alkohol oder andere flüssige Brennstoffe; doch war Bunsen nicht im mindesten befriedigt von den aus England stammenden Gasbrennern für Laboratoriumszwecke. Als im Jahre 1854 in Heidelberg Gasbeleuchtung eingeführt wurde, hatte daher Bunsen sofort die Erfindung eines geeigneten Brenners vorgenommen: des dann sogleich ganz unentbehrlich gewordenen und bis heute gebliebenen, jetzt allbekannten „Bunsenbrenners". Aber nicht nur die einzig brauchbare Laboratoriums-Wärmequelle all der Jahrzehnte und ein Grundbestandteil technischer Heizeinrichtungen war damit gegeben, sondern vor allem eine Flamme von vorher ungekannter Stetigkeit und zugleich Vielseitigkeit ihrer Eigenschaften. Diese verstand allerdings Niemand als nur Bunsen selbst bald voll auszunutzen zu seinen bewundernswerten „Flammenreaktionen" — einer neuartigen chemischen Prüfmethode für vielerlei Stoffe, die man sonst auf nassem Wege oder allenfalls mittels des Lötrohres untersuchte — und vermöge der Reinheit der Versuchsbedingungen, welche diese Flamme gewährte, zur Begründung der Spektralanalyse.

Jetzt war es möglich, auf reinem Platindraht beliebige Stoffe in dieser „nicht-leuchtenden Gasflamme" verdampfen und leuchten zu lassen, und es war nun aussichtsreich und angebracht, die verwendeten Stoffe mit aller chemischen Kunst solange immer weiter zu reinigen, bis jeder derselben seine besondere Flammenfärbung voll und rein entwickelte, was Bunsen mit bewundernswerter Beharrlichkeit durchführte. Dabei wurde aber ferner diese Flammenfärbung nicht nur etwa mit bloßem Auge beobachtet, sondern nach Newton's und Fraunhofer's Vorgang in spektraler Zerlegung mit dem Prisma. Da zeigte es sich, daß jene schon so oft vorher beobachtete Gelbfärbung der Flamme, mit der schon Fraunhofer wohlbekannten gelben Spektrallinie, ausschließlich dem Vorhandensein von Natrium zugehört, und daß die bisherige Unsicherheit in bezug auf den Ursprung dieses gelben Lichtes zurückzuführen ist einerseits auf die ungeahnte Geringfügigkeit der Stoffmengen, welche zu deutlichster Hervorbringung dieser Flammenfärbung, beziehlich Spektrallinie genügen und andererseits auf die Allverbreitung des Natriums als mindestens spurenweiser Verunreinigung in so gut wie allen der Erdoberfläche entstammenden Stoffen. Damit war aber zugleich für alle in der Flamme oder im elektrischen Funken oder Bogen oder sonst im glühenden Gaszustand erhältlichen Stoffe ein Erkennungsmittel ihrer Bestandteile gegeben, das ebenso sicher kleinste Mengen verriet, als es leicht und einfach anwendbar war; die „Emissions-Spektralanalyse" war begründet.

Sie führte Bunsen selbst sogleich — 5 und 6 Jahre nach Einführung seiner Leuchtgasflamme — zur Entdeckung zweier neuer Elemente, des Rubidiums und des Caesiums, die bis dahin, wegen ihres meist nur spurenweisen Vorkommens sowie ihrer großen Ähnlichkeit mit den bekannten Alkalien, unerkannt geblieben waren. Gerade zur Auffindung neuer elementarer Stoffe war diese Spektralanalyse ebenso geeignet wie zum Nachweis der schon bekannten Elemente, weil im glühenden Gaszustand fast alle Stoffe in ihre elementaren Bestandteile zersetzt sind, so daß die einzelnen Atome im freien Zustand vorkommen und ihre ihnen allein zukommende Lichtemission zeigen können. So wurden in den folgenden Jahren auch noch andere Elemente, wie das Thallium, Indium, Gallium, Skandium, Germanium entdeckt und die Trennung und zweifelsfreie Feststellung anderer, wie z. B. der „seltenen Erden" und der „Edelgase", ermöglicht. Das ergab eine große Erweiterung der Gesamtkenntnis von den elementaren Bausteinen der Materie. Man hatte von da ab auch ein ganz untrügliches Kennzeichen für ein neues Element: es mußte neue Spektrallinien zeigen.

Kirchhoff's besondere, ebenfalls großartige Hinzufügung zur Spektralanalyse betraf die Absorption (Verschluckung) des Lichtes. Er erkannte nicht nur, daß dieselbe im engsten Zusammenhang mit der Emission (Aussendung) steht, sondern er lieferte hierfür auch einen Nachweis, der diesen Zusammenhang unter die fest begründeten Naturerkenntnisse stellte und ihm zugleich die scharfe Fassung gab, die solcher Erkenntnis überhaupt erst ihren vollen Wert verleiht (1860), heute als „Kirchhoff's Gesetz" bekannt. Kirchhoff's Beweis des Gesetzes besteht in einer Reihe von Gedankenversuchen erlaubter Art, d. i. solchen, die nur Hilfsmittel und Vorgänge benutzen, deren Verwirklichung mit genügender Annäherung möglich ist, und in den zugehörigen Rechnungen, die den Ausfall dieser Versuche einwandfrei in Verbindung zu bringen erlaubten mit Clausius' 2. Hauptsatz der Wärmetheorie, im besonderen mit der allgemeinen Erkenntnis, daß Wärme niemals von selber von einem kälteren zu einem heißeren Körper übergeht[1]). So steht Kirchhoff's Gesetz mit dieser Erfahrungs-Erkenntnis und mit der Fülle sonstiger Erfahrung, die die Wärmetheorie zusammenfaßt, in fester Verbindung und ist somit ebensogut gesichert wie alle diese Erfahrungen. Das Gesetz sagt, daß Emission und Absorption von Licht bestimmter Wellenlänge bei allen Körpern von gleicher Temperatur einander proportional sind. Ein Körper, der demnach beispielsweise — wie der Natriumdampf — das gelbe Licht einer bestimmten Spektralstelle (Wellenlänge) aussendet, muß dasselbe Licht in entsprechendem Maße auch absorbieren, und wenn er die anderen Lichter nicht aus-

[1]) Die zugehörigen Rechnungen nehmen bei Kirchhoff einen breiten Raum ein. Sie wären durch geeignete Veränderungen der Gedankenversuche stark einschränkbar gewesen ohne den überzeugenden Wert des Beweises zu vermindern. Für die Einschätzung von Kirchhoff's Errungenschaft (welche er selbst, erhobenen Ansprüchen gegenüber, treffend verteidigte — „Gesammelte Abhandlungen" S. 573 —) ist diese Bemerkung belanglos, nicht so aber in Hinsicht der Erkenntnis, daß alle solche Beweise von Naturgesetzen nicht mehr und nicht weniger Wert haben als in der überzeugenden Herstellung einer Verbindung liegt zwischen dem zu beweisenden neuen Satze und einem oder mehreren anderen, schon als gesichert betrachteten Sätzen, derart, daß diese Sätze nur miteinander stehen können — oder miteinander fallen müßten —, wenn die Natur sich selber treu bleibt (worauf sie die Probe in allem Unbelebten stets bestanden hat). Insofern dann die hinzugezogenen Sätze durch Erfahrung als stehend — d. i. mit der Wirklichkeit übereinstimmend — gesichert sind, ist es mittels des Beweises auch der neue Satz. Wie viel oder wenig Rechnung bei der Herstellung jener Verbindung aufgewendet wird, ist vollkommen gleichgültig. (Wenigste Rechnung: s. „Deutsche Physik" Bd. II, W 167.) Ist es viel Rechnung und sind etwa zugleich die zugezogenen Erfahrungssätze wenig ersichtlich gemacht, so entsteht der täuschende Anschein eines „mathematischen Beweises", welcher Anschein den hohen charakterbildenden Wert der Naturforschung verschleiert und verbirgt, indem die Meinung erweckt wird, ihr wahrer Inhalt sei nur Mathematikern zugänglich oder: Mathematik gebe an sich Naturerkenntnis.

sendet, so wird er sie auch nicht absorbieren. Dies bedeutet, daß eine mit Natrium versehene Flamme, zwischen eine überragend helle weiße Lichtquelle und den Prismenapparat gestellt, eine dunkle Linie ebendort erscheinen lassen muß, wo diese Flamme allein die helle Linie ergibt. Daß dies tatsächlich der Fall ist, hat Kirchhoff auch selbst beobachtet.

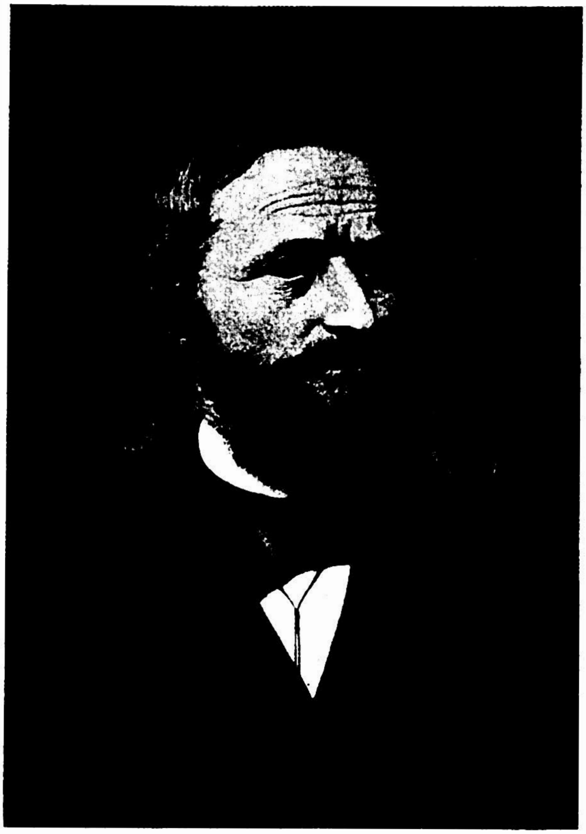


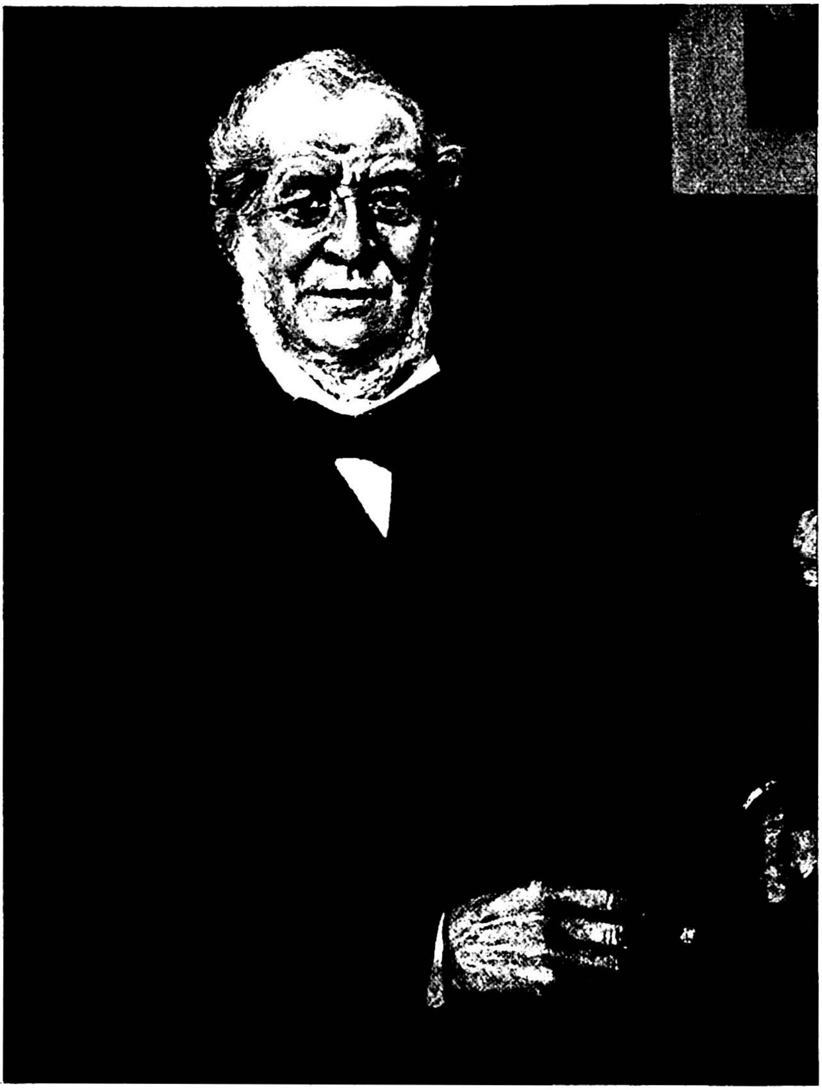
Bild 62. Gustav Kirchhoff.

Es war das ein besonderer Erfahrungsanhalt für jenen Satz, der für Kirchhoff dem Beweis des Satzes vorausging. Zugleich aber war eine künstliche Fraunhofer'sche Linie im Spektrum hervorgebracht und zwar genau an der Stelle der von Fraunhofer mit D bezeichneten Linie des Sonnenspektrums. Dem durch so viele mit ihm verknüpfte, noch weit allgemeinere Erfahrung gesicherten Satze nach kann dies kein Zufall sein; sondern es ist anzunehmen, daß irgendwo auf dem

Wege des Lichtstrahles von seiner Aussendungsstelle auf der Sonne bis zum Spektroskop auf der Erde Natriumdampf sei, bestehend aus freien Natrium-Atomen wie in der Flamme. Dies kann aber nur in einer gasförmigen, hoch temperierten Atmosphäre der Sonne selbst sein, welche das weiße, von einem glühend-flüssigen (oder festen) Kern der Sonne ausgestrahlte Licht zu durchsetzen hat. Damit war eine gut gesicherte Erklärung der bis dahin unverstandenen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspektrums gewonnen, außerdem war aber mit Zuhilfenahme von Bunsen's Ergebnissen die Möglichkeit einer chemischen Untersuchung der Sonnenatmosphäre eröffnet.

So viel wichtige Ergebnisse auf einmal haben selten einen Forscher erfreut, wie hier Kirchhoff und Bunsen[1]). Kirchhoff vermaß nun die dunkeln Linien des Sonnenspektrums noch viel eingehender als es Fraunhofer schon getan hatte, und ebenso vermaß er auch die Emissions-Linien von Elementen, besonders des Eisens, um das Zusammenfallen von Linien eingehend feststellen zu können. So wurden außer Natrium und Eisen auch Wasserstoff, Magnesium, Kalzium und der Reihe nach immer mehr andere auf der Erde bekannte Elemente als in der Atmosphäre der Sonne vorhanden nachgewiesen. Zu einer der dunkeln Linien im Sonnenspektrum wurde das sie liefernde Element erst nachträglich auf der Erde gefunden, eine gleichliegende helle Linie ergebend; es wurde danach Helium genannt (eines der „Edelgase"). Bei totalen Sonnenfinsternissen, wenn der Kern der Sonne durch den Mond abgeblendet ist, sah man — zum ersten Mal im Jahre 1868 — auch die hellen Spektrallinien, welche von der nun allein leuchtenden Sonnenatmosphäre geliefert werden; es wurden so die „Protuberanzen" der Sonne als gewaltige Ausbrüche glühenden Wasserstoffgases erkannt, und man lernte sie dann mittels des Spektroskopes auch ohne Sonnenfinsternis eingehend beobachten. Bald wandte man sich auch der spektralen Zerlegung des Lichtes der Fixsterne und Nebelflecke zu, worin schon Fraunhofer einen Anfang gemacht hatte; es war jetzt möglich, die gleiche chemische Analyse, welche für die Sonne schon geglückt war, auch an diesen, großenteils viel tausend und mehr Lichtjahre von uns entfernten Gestirnen zu erproben. Es zeigte sich, daß das ganze sichtbare Weltall, auch bis in die größten Fernen, aus keinen anderen Stoffen aufgebaut ist, als die auch auf der Erde sich finden. Eine gewaltige Erweiterung der Naturerkenntnis war damit gewonnen: Die Materie

[1]) Der Ort, wo dies stattfand, ist an dem „Im Riesen" genannten Hause in der Hauptstraße zu Heidelberg mit einer Gedenktafel bezeichnet. Gegenüber befindet sich der drei Jahre später errichtete „Friedrichsbau", in welchen Kirchhoff dann einzog; für Bunsen war schon vorher (1855) das chemische Laboratorium am Wredeplatz neu erbaut worden.



Robert Bunsen

ist überall einheitlich beschaffen; die Welt ist ein Ganzes; die ungeheuersten, Sonnensystem von Sonnensystem sondernden Zwischenräume bilden keine wahren Trennungen; was uns auf der Erde von der Materie geläufig wird, gilt auch in allen Himmelsfernen.

An diese Errungenschaften der Spektralanalyse knüpften sich bald weitere Ergebnisse, ebenfalls die Vorgänge im Himmelsraum betreffend. Christian Doppler, geboren 1803 als Sohn eines Steinmetzmeisters zu Salzburg, Professor der Mathematik und Physik an verschiedenen Lehranstalten Österreichs, zuletzt an der Universität Wien, konnte Bunsen's und Kirchhoff's Ergebnisse nicht mehr erleben; er starb früh, nur 50 Jahre alt. Er hatte aber eine Erkenntnis gewonnen, die nun gut verwertbar wurde: „Doppler's Prinzip". Dasselbe bezieht sich auf alle Wellenausbreitung, auch die des Lichtes, und gibt an, was geschieht, wenn die Quelle der Wellen oder der Beobachter in der Strahlrichtung sich bewegt. Ist die Bewegung nicht schnell im Vergleich mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen, so kommt es dabei nur auf Änderung des Abstandes Quelle-Beobachter an, und das Prinzip sagt aus, daß bei Annäherung Beider eine Verkürzung, bei Entfernung eine Verlängerung der Wellen vom Beobachter wahrgenommen wird in bestimmt angebbarem, von der Geschwindigkeit der Abstandsänderung abhängigem Maße. Das Prinzip wurde zuerst an Schallwellen mit der Wirklichkeit verglichen und bestätigt gefunden, wobei die Schallquelle auf einer schnell fahrenden Lokomotive sich befand; der Ton erscheint dem Beobachter bei Annäherung der Schallquelle erhöht, bei Entfernung vertieft, wie es dem Prinzip entspricht. Bei Licht ist anstelle der Tonhöhen-Änderung eine spektrale Verschiebung zu erwarten, wenn Lichtquelle und Beobachter ihren Abstand ändern. Die Geschwindigkeit muß, wegen der großen Lichtgeschwindigkeit, erheblich sein, wenn die spektrale Verschiebung gut merklich sein soll; es war daher zunächst überhaupt nur bei Himmelskörpern etwas zu erwarten, bei welchen große Geschwindigkeiten häufig vorkommen. Gut deutbare Beobachtungen waren möglich geworden, nachdem die Linien in den Spektren der Gestirne nach Kirchhoff und Bunsen bestimmten Elementen mit Sicherheit zugeordnet worden waren. Man konnte dann die Lage je einer bestimmten Linie in dem Spektrum des betreffenden Gestirns vergleichen mit der Lage der gleichen Linie des betreffenden Elementes in irdischer Lichtquelle; aus dem Abstand der beiden Linien wurde die Geschwindigkeit der Abstandänderung des Gestirnes von der Erde nach dem Prinzip berechenbar. Man kennt jetzt bereits von Tausenden von Sternen diese „Radialgeschwindigkeiten", was eine ganz neue Orientierungsmöglichkeit über

die Gesamtbewegungen im Himmelsraum bedeutet[1]). Auch für die inneren Bewegungen einzelner Himmelsgebilde, wie der Nebelflecke, sind durch spektroskopische Ermittelung der Radialgeschwindigkeit schon wichtige Aufschlüsse erhalten worden. Erwähnt sei besonders noch die Entdeckung vieler „spektroskopischer" Doppelsterne, die auch in den besten Fernrohren nur einfach erscheinen können, weil sie viel zu weit entfernt sind. Die regelmäßig wiederkehrende Verdoppelung der Spektrallinien dieser Sterne zeigt an, daß und wie schnell die eine der um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisenden Sonnen sich uns nähert, während die andere sich entfernt, woraus Bahnen und in manchen Fällen sogar Massen dieser Doppelsonnen widerspruchsfrei berechenbar wurden. Eine wichtige unmittelbare Bestätigung der Gültigkeit von Doppler's Prinzip für das Licht hat schließlich an äußerst schnell bewegten irdischen Lichtquellen (den leuchtenden Kanalstrahl-Atomen) sich ergeben.

Die Spektralanalyse mit allem, was weiter aus ihr sich aufbaute, bildet jedoch keineswegs Bunsen's und Kirchhoff's einzige hervorragende Leistung.

Von Kirchhoff seien seine Sätze über die Verzweigung elektrischer Ströme in Leiternetzen und in flächenhaften oder körperlichen Leitern genannt, Erweiterungen von Ohm's Gesetz darstellend.

Bunsen hat die Naturerkenntnis durch eine Fülle von Arbeiten gefördert, deren hier nur ein Teil genannt werden kann, die nach geradezu allen Richtungen der Forschung gehen, und die vor allem überall neue Wege gezeigt und neue Hilfsmittel geliefert haben. Alles, was er in Angriff nahm, gestaltete sich bei ihm neuartig und meist auch gleichzeitig praktisch wichtig. So erfand er, um Davy's elektrolytische Arbeiten fortzusetzen, das „Bunsen-Element"[2]), das dann durch ein Vierteljahrhundert die einzig vorhandene zweckmäßige Quelle starker elektrischer Ströme war. Damit ermittelte er dann die besten Wege zur elektrolytischen Reindarstellung von Metallen, wie Kalzium, Aluminium, Magnesium, was später auch Alles technisch wichtig wurde. Das verbrennende Magnesium, sowie Davy's Kohlebogenlicht zum ersten Mal mit den starken Strömen seiner neuen Elemente hervorgebracht, lieferten ihm Lichtquellen von bis dahin ungekannt hoher Intensität; er erfand zu deren Ausmessung das Fettfleck-Photometer, das dann durch 50 Jahre das allein gebrauchte Photometer

[1]) Hierbei wird freilich oft zu wenig Vorsicht geübt in bezug auf andere, mögliche Ursachen von Spektrallinienverschiebungen.

[2]) Es enthält Zink in verdünnter Schwefelsäure und Gasretorten-Kohle in konzentrierter Salpetersäure und stammt aus dem Jahr 1841; später (1875) hat Bunsen noch das „Chromsäure-Element" angegeben, das ebenfalls viel benützt wurde.

blieb, bis der Fettfleck, in Verfeinerung, durch einen besonderen Glaswürfel ersetzt wurde. Neu von ihm rein abgeschiedene Elemente gaben ihm Anlaß, das Eiskalorimeter zu erfinden, um behufs Atomgewichtsbestimmung die spezifischen Wärmen der Elemente trotz nur sehr kleiner verfügbarer Mengen aufs feinste messen zu können, und wieder war durch dieses Kalorimeter ein neues, lange Zeit hindurch unübertroffen gebliebenes Hilfsmittel für weitere Forschungen gegeben.

Nicht wenig war Bunsen auch an Untersuchungen über das Erdinnere, über die vulkanischen Erscheinungen und die Entstehung der Gestirne beteiligt. Auf einer wissenschaftlichen Reise nach Island (1846) ergründete er die Natur der Geyser, und später untersuchte er die Abhängigkeit des Schmelzpunktes vom Druck bei Stoffen, die — wie es meist der Fall ist — im festen Zustand spezifisch schwerer sind als im flüssigen. Er fand starkes Ansteigen des Schmelzpunktes mit zunehmendem Druck und weist auf die hohen Drucke hin, die ohne Zweifel im Erdinnern herrschen, wonach dort bedeutend erhöhte Schmelzpunkte der Gesteine anzunehmen sind. Dies stimmt mit dem größtenteils festen Zustand des Erdinneren, welcher schon nach Newton's Untersuchungen der Ebbe- und Flut-Erscheinungen angezeigt war, indem der Erdkörper nur unbedeutend an Ebbe- und Flut-Bewegung teilnimmt, woran der feste Zustand der Oberfläche allein ihn nicht hindern könnte. Außerdem bildete Bunsen's Ergebnis über die Schmelzpunkte eine wertvolle Bestätigung einer eben damals auf Clausius' und W. Thomson's Thermodynamik gegründeten Rechnung. Dieselbe Rechnung ergab für Eis, das spezifisch leichter ist als Wasser, das umgekehrte Verhalten: Sinken des Schmelzpunktes bei steigendem Druck, was damals schon nachgeprüft und der Wirklichkeit entsprechend gefunden war.

Wichtig waren auch Bunsen's Arbeiten über das „Kakodyl" und dessen Verbindungen. Er erkannte in diesem, aus Kohlenstoff, Wasserstoff und Arsen nach festen Verhältnissen aufgebauten Stoff, den er überhaupt erst herzustellen und zu behandeln lehrte, ein „Radikal", d. i. eine zusammenbleibende Atomgruppe, die wie ein Element sich verhält und dementsprechend in Verbindungen verschiedener Art eingeht. Hiervon war schon mehr als 20 Jahre früher durch Gay-Lussac das Cyan, aus je 1 Atom Kohlenstoff und Stickstoff bestehend, als ein erstes, besonders einfaches Beispiel entdeckt worden; das Kakodyl war ein Beispiel eines sehr zusammengesetzten Radikals, da es insgesamt 9 Atome enthält, und führte wieder einen Schritt weiter beim Eindringen in die Kenntnis der vielatomigen Stoffe der organischen Welt. Die Untersuchungen über die Kakodyl-Reihe mochten Bunsen's Laune besonders angelockt haben; es forderte seine Kunst heraus, mit Stoffen, die explosibel, selbstentzündlich, auch durch Giftigkeit lebens-

gefährlich und dem Geruchssinn schon spurenweise unerträglich sind, mit Sicherheit fertig zu werden. Für das giftige Arsen hatte er übrigens schon vorher ein völlig sicheres Gegengift ausfindig gemacht, — eine für die Allgemeinheit damals, als Arsenik das beliebteste Vergiftungsmittel war, sehr bedeutungsvolle Leistung.

Bemerkenswert ist, daß Bunsen in seinen Veröffentlichungen über die Kakodyl-Reihe, welche seiner Jugendzeit angehören (1837—1841), zur Darstellung der Zusammensetzungen der von ihm gefundenen Verbindungen, derselben Atomgewichte sich bedient, die heute als richtig feststehen (wonach z. B. Wasser als H_2O geschrieben wird). Später ist er davon abgegangen und hat z. B. das Atomgewicht — oder wie er dann lieber sagte „Verbindungsgewicht" des Sauerstoffs nur 8-mal so groß als das des Wasserstoffs gesetzt (statt 16-mal), wie es in den Zeiten, da Avogadro's Gesetz noch unbekannt oder noch Hypothese war, angenommen wurde, so auch von Faraday (Wasser ergibt sich danach als HO). Bunsen entzog sich dadurch in der Zeit der Unsicherheit dem Streit der Meinungen um „Hypothesen, die wandelbar sind und oft verändert werden"[1]). Er konnte mittels der hypothesenfreien Verbindungsgewichte ganz ebenso gut die tatsächlich festgestellten quantitativen Zusammensetzungen aller Verbindungen treffend in Formeln ausdrücken, wie mit den Atomgewichten, deren wahre Werte erst spät — nachdem Avogadro's Gesetz durch Clausius' Begründung der kinetischen Gastheorie gesichert war — zweifelsfrei feststellbar wurden. Als dann diese Klärung erfolgt war, verschmähte es Bunsen, nochmals eine Änderung vorzunehmen, und er blieb dauernd bei den Verbindungsgewichten. Dadurch verzichtete er allerdings auf ein etwaiges Eindringen in den Aufbau der Moleküle der Verbindungen aus den Atomen, wozu nur Formeln tauglich waren, die auf wahre Atomgewichte und Molekulargewichte gegründet sind. Solches Eindringen, das einen wesentlichen weiteren Fortschritt bedeutete, war seinen jüngeren Zeitgenossen und Nachfolgern beschieden. Sie konnten sich dabei auf das schon gesicherte Avogadro'sche Gesetz stützen, das die richtige Molekulargröße angibt. Dabei zeigte sich, daß den verschiedenen Atomen verschiedener Bindungswert für andere Atome zuzuschreiben ist, je nachdem sie z. B. 1, 2, 3 oder 4 Wasserstoff-Atome zu einem Molekül an sich zu binden vermögen, und dieser Bindungswert zeigte sich im allgemeinen auch bei Bindungen der verschiedenen Atome untereinander gültig. So kam man dazu, jedem Atom eine seinem Bindungswert — seiner „Wertigkeit" — entsprechende Anzahl von „Valenzstellen"

[1]) So hat Bunsen seinen entschiedenen Widerwillen gegen Hypothesen, die oft wie fertige Theorien hingestellt sich finden, in seinen Vorlesungen gelegentlich zum Ausdruck gebracht.

zuzuschreiben und anzunehmen, daß bei Molekülbildung stets zwei Valenzstellen der verschiedenen Atome einander „absättigen". Diese Hypothesen stimmten mit Davy's und Berzelius' Vorstellungen von der elektrischen Natur der Bindungskräfte der Atome und mit Faraday's 2. elektrolytischem Gesetz in gewissem Maße — aber nicht in jeder Beziehung — überein. Daß sie Bunsen nicht befriedigen konnten, besonders als sie in den „Struktur-Formeln" einen allzu bestimmten Ausdruck fanden, ist heute noch mehr selbstverständlich als damals; denn es ist trotz hinzugekommener wesentlich neuer Anhaltspunkte noch immer nichts Abschließendes über den Molekülbau bekannt. Immerhin ist jene Absättigungsvorstellung, zeichnerisch in den besagten Formeln festgehalten, ihrem den Tatsachen entnommenen Inhalts-Anteil entsprechend höchst wertvoll geworden, und besonders unter den zahllosen „organischen" Verbindungen ist sie seit Kekulé's Benzol-Formel (1865)[1]) das beste Orientierungsmittel sowie auch Führer zur Herstellung großer Reihen dieser Verbindungen geworden.

Bunsen's sowie Kirchhoff's äußere Lebensumstände waren sehr einfacher Art.

Robert Wilhelm Bunsen war zu Göttingen als Sohn eines Professors der Philologie geboren; er bezog mit 17 Jahren die dortige Universität, an der er sich später, nach großen Reisen über Berlin, Paris und Wien auch habilitierte. Im Jahre 1836 wurde er an die technische Schule in Kassel berufen, zwei Jahre später an die Universität Marburg, dann nach Breslau und bald darauf, 1852 nach Heidelberg. Hier wirkte er durch 37 Jahre als eine der hervorragendsten Erscheinungen der Universität. Berühmt als Entdecker wie als Lehrer zog er andauernd viele Schüler in sein Laboratorium; es hat wohl kein Naturforscher der nächsten Generation und keiner der Begründer der bald sich entwickelnden deutschen chemischen Industrie nicht mindestens einige Semester bei ihm gearbeitet. Seine Experimental-Vorlesungen waren einzigartig in ihrer, Bunsen's ganzer Persönlichkeit entsprechenden Vornehmheit und zugleich natürlichen Einfachheit bei aller Formvollendung; die Entdeckerfreude wurde hier in allen seinen Vorführungen und Erläuterungen miterlebt[2]). Er war ein Vorbild der Pflege

[1]) August Kekulé lebte 1829—1896, geboren zu Darmstadt, war Privatdozent unter Bunsen, zuletzt Professor der Chemie in Bonn.

[2]) Es wußten davon auch weitere Kreise; durch Heidelberg reisende Fürstlichkeiten und Größen des Geisteslebens waren daher nicht selten in seinem Hörsaal — unten an der Ecke von Akademiestraße und Plöck gelegen — zwischen den Studierenden zu sehen. — Bunsen's Gestalt wirkte vornehmmächtig, wie ihn das Heidelberger Standbild zeigt; die Farbe seiner Augen war blau.

reiner Wissenschaft; aus seinen Erfindungen Nutzen für sich zu ziehen (was beim Gasbrenner, dem Photometer und vielen anderen leicht möglich gewesen wäre) lag ihm gänzlich fern. Sein Leben lief so gut wie ganz im Laboratorium unter seinen Schülern ab, die auch Zeugen seiner eigenen, gerade in Gang befindlichen Arbeiten sein konnten. Seine Äußerungen waren oft voll schalkhafter Laune unter dem Anschein größten Ernstes; seine Denkweise kam so zur Geltung ohne unmittelbar den Anspruch auf Überlegenheit zu erheben. Eine Familie hat er nie gegründet; in den Universitätsferien liebte er große Reisen zu machen, meist nach dem Süden, oft von befreundeten Kollegen begleitet. Mit 78 Jahren zog sich Bunsen von seiner Lehrtätigkeit zurück; noch durch 10 Jahre erfreuten ihn dann Gänge, zuletzt Ausfahrten in die nahen Wälder seiner Lieblingsstadt, von der keine noch so verlockenden Anerbietungen ihn je hatten trennen können.

Gustav Kirchhoff war zu Königsberg in Preußen als dritter Sohn eines Justizrats geboren, studierte auch dort, habilitierte sich im Jahre 1848 in Berlin und folgte dann einem Rufe als außerordentlicher Professor nach Breslau. Dort traf er zuerst mit Bunsen zusammen, der dann 1854 seine Berufung nach Heidelberg bewirkte. Im Jahre 1875 verließ Kirchhoff diese Stätte seiner erfolgreichsten Wirksamkeit, wo er auch nach dem frühen Tod seiner Gattin ein zweites Mal sich verheiratet hatte, und zog nach Berlin, um dort neben Helmholtz zu wirken. Ein Fußleiden, das durch einen Fall auf der Treppe entstanden war, war gebessert; doch stellte sich zunehmende Kränklichkeit ein und er verstarb schon 12 Jahre später, 63 Jahre alt.

James Clerk Maxwell

(1831—1879).

Er ist der Zusammenfasser wesentlicher Teile der Kenntnis von der Zusammengehörigkeit der elektrischen und der magnetischen Kraftlinien bei ihren Bewegungen im Äther und zwar nicht nur soweit gesicherte Kenntnis zu seiner Zeit ging, sondern mit Hinzunahme andeutungsweise vorhandener Kenntnis, so daß ein wohlabgerundetes Gebäude entstand, das — wie die Erfahrung nachher zeigte — wirklich den Tatsachen entspricht. Das Gebäude hat mathematische Gestalt; es besteht aus einigen Gleichungen, welche Zusammenhänge angeben zwischen den durch die elektrischen und magnetischen Kräfte quantitativ beschriebenen räumlichen Kraftlinienverteilungen und deren zeitlichen Änderungen bei gegebenen Konstanten der gleichzeitig im Raume vor-

handenen materiellen Körper[1]). Als Konstante des Äthers tritt dabei die Lichtgeschwindigkeit auf. Die Gleichungen sind Differentialgleichungen, d. h. sie beziehen sich nur auf jeweils ein Volum-Element des Raumes und auf dessen unmittelbare Nachbarschaft, sowie auch nur auf Zeitelemente. Dies entspricht ganz Faraday's, all seiner Erfahrung entnommener Vorstellung, daß nicht Fernkräfte — die alle Volum-Elemente überspringen — im Äther wirksam sind, sondern daß Alles in demselben nur von Nachbarschaft zu Nachbarschaft vor sich geht[2]). Überhaupt hat Maxwell seine Gleichungen ganz auf Faraday's Vorstellungen gegründet. Was er in denselben zusammenfaßte, war alles über Licht, Elektrizität und Magnetismus grundsätzlich Bekannte, was eben zusammengenommen den Hauptinhalt der damaligen Kenntnis von Vorgängen im Äther ausmachte. Daß er, obgleich nur elektrische und magnetische Kräfte in den Gleichungen vorkommen, doch die Erscheinungen des Lichtes, von welchem seit Huygens die Physik des Äthers ausgegangen war, mit einbegreifen konnte, dies war auch einem Gedanken Faraday's entnommen, wonach Licht und elektromagnetische Kräfte „gar nicht unmöglicher Weise"[3]) Erscheinungen an einem und demselben Äther sein könnten. Dieser Gedanke von der Einheit des Äthers ist in Maxwell's, durch seine Gleichungen festgelegter „Theorie" der große Grundgedanke geworden. Daß es Theorie (Kenntnis-Zusammenfassung) und nicht bloße Hypothese (Vermutung) ist, dafür waren allerdings zu Maxwell's Zeit nur — in etwas dunkler Weise — Faraday's Entdeckung von der elektromagnetischen Drehung der Polarisationsebene des Lichtes und — mehr offenbar — seit Wilhelm Weber das Auftreten der Lichtgeschwindigkeit bei elektrischen Erscheinungen und Messungen als Anzeichen vorhanden.

Maxwell's Gleichungen fassen in einer wohl selbst dem Mathematiker erstaunlichen Weise die grundsätzlichen Ergebnisse großer Reihen von Forschungen zusammen, soweit nur ruhende Körper in Betracht kommen: Sie enthalten Coulomb's beide Gesetze mit dem Wesentlichen der Potentialtheorie, Oersted's Entdeckung mit Ampère's Forschungen, Ohm's Gesetz, Faraday's Induktionsgesetz, dies alles gestützt auf Faraday's Kraftlinienvorstellung, welche dadurch zum ersten Mal auch in völligem Einklang gezeigt ist mit der

[1]) Diese Körper-Konstanten sind: 1. die von Faraday eingeführte Dielektrizitäts-Konstante, 2. eine dieser analoge, für die magnetischen Kräfte geltende Konstante (die magnetische „Permeabilität"), 3. das elektrische Leitvermögen.

[2]) Von Wilhelm Weber war eine ebenfalls großartige, jedoch auf die Annahme von Fernkräften gegründete Zusammenfassung durchgeführt worden; die Tatsachen haben später gezeigt, daß ihr die Anpassung an die Wirklichkeit fehlt.

[3]) Tyndall hat mehrere hierzu gehörige Äußerungen Faradays zusammengestellt; „Faraday as a discoverer", London 1870, S. 154 ff.

älteren, schon von Laplace her entwickelten Potentialtheorie. Sie enthalten darüber hinaus — von Maxwell hypothetisch hinzugefügt — noch das Bestehen elektrischer Wellen, die von den schon von W. Thomson behandelten elektrischen Schwingungen ausgehend, mit Lichtgeschwindigkeit im freien Raum sich ausbreiten, transversal wie die Lichtwellen und wie diese in materiellen Medien brechbar sein sollten.

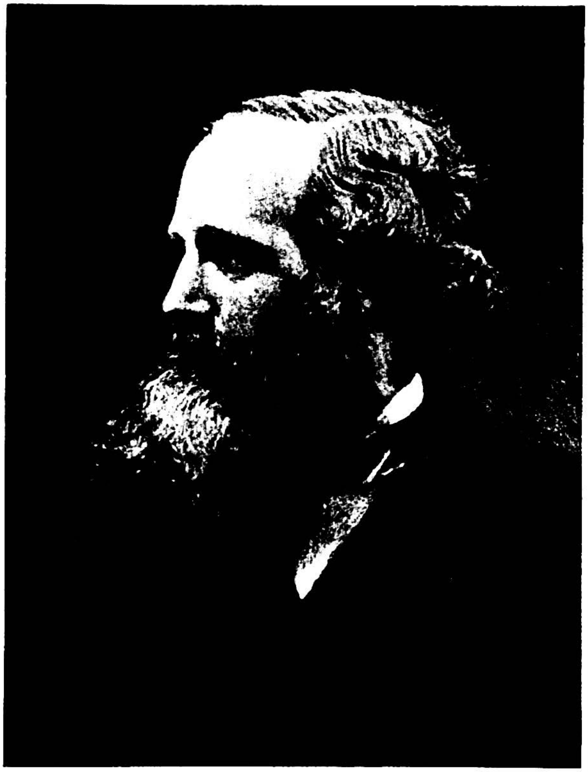


Bild 64. James Clerk Maxwell.[1])

Eine so großartige Zusammenfassung in wenigen Gleichungen war bis dahin noch niemals dagewesen.

In bezug auf Leistung in Anwendungen ist der Sinn der Gleichungen, in welchen Des Cartes' Koordinaten des Raumes und die Zeit als unabhängig veränderliche Größen vorkommen, dieser: Es seien überall im Raume die elektrischen und die magnetischen Kräfte

[1]) Haar und Bart waren, in den jüngeren Jahren, ganz schwarz, die Augen dunkelbraun.

zu einer Anfangszeit gegeben, so erlauben die Gleichungen, nach den Regeln der Mathematik behandelt, diese Kräfte — und damit bei gewissen Einschränkungen alles, was aus dem gegebenen Anfangszustand nach Maßgabe der zusammengefaßten Gesetze folgt — für alle zukünftigen Zeiten vorauszuberechnen. Man bemerkt die Gleichheit in Aufbau und Leistung von Maxwell's Gleichungen und beispielsweise den Grundgleichungen der Hydrodynamik. Auch letztere sind Differentialgleichungen, d. h. sie beziehen sich auf jeweils nur ein Volum-Element des Raumes und auf dessen unmittelbare Nachbarschaft und sie erlauben — soweit die Leistungsfähigkeit der Mathematik geht — die Vorausberechnung der zukünftigen Zustände in der Flüssigkeit aus gegebenem Anfangszustande. Was also die hydrodynamischen Gleichungen für eine Flüssigkeit leisten, leisten Maxwell's Gleichungen für den Äther. Beide Gleichungen sind nur auf Erfahrung gestützt; während aber die hydrodynamischen Gleichungen in der Hauptsache nichts als Galilei's und Newton's Bewegungsgesetze enthalten, ist der Inhalt von Maxwell's Gleichungen ein — wie erläutert — sehr zusammengesetzter, ohne daß bemerkenswerterweise ihre Form besonders verwickelt wäre. Das letztere konnte — ebenso wie die Einfachheit des Grundgedankens von der Einheit des Äthers — immer schon für ihre Übereinstimmung mit der Wirklichkeit sprechen, d. i. für das Treffen der hypothetischen Zusätze; es war nur die Unzugänglichkeit des Äthers, welche bei diesem soviel Teilentdeckungen erforderte, die dann aber doch einfach zusammenzufügen waren, während bei den greifbaren Flüssigkeiten unmittelbarer zum Ziel zu kommen war. Die Übereinstimmung mit der Wirklichkeit ist 15 Jahre später durch den Nachweis und das eingehende Studium der hypothetischen elektrischen Wellen in H. Hertz' Arbeiten erwiesen worden, und noch später — nach Hasenöhrl — ist klar geworden, daß die Eigenschaften der Kraftlinien nicht nur Eigenschaften des Äthers, sondern viel mehr noch Eigenschaften der mit Masse und Gewicht begabten Energie sind.

Bemerkenswert ist es, daß Maxwell zu seinen Gleichungen nicht etwa unmittelbar durch mathematische Zusammenfassung gelangt ist, sondern — ausgehend vom Studium der Experimental-Untersuchungen Faraday's — durch eingehende Überlegungen über etwa mögliche Äther-Mechanismen, welche die zusammenzufassenden beobachtbaren Wirkungen ergeben sollten. Später hat er diese Mechanismen fast ganz verlassen und nur die Gleichungen behalten, womit er ganz auf Faraday's Denkweise zurückkam, der seine Kraftlinien nur als Abbilder unbekannter Zustände eines den Raum erfüllenden Mediums betrachtete. Maxwell sagt daher selbst, daß er Faraday's Vorstellungen in mathematische Form gesetzt habe. In seinem zweibändigen Werk „Über

Elektrizität und Magnetismus", das 1873 erschien, stellt er übrigens keineswegs die das Besondere seiner Leistung darstellenden Differential-Gleichungen voran, sondern er entwickelt die damalige Gesamtkenntnis von Elektrizität und Magnetismus so, daß die Darstellung möglichst Anschluß an Faraday's Vorstellungen und damit auch an jene Gleichungen erhält, die aber erst gegen den Schluß des Werkes fast versteckt auftreten.

Das Besondere von Maxwell's Werk konnte erst nach der experimentellen Bestätigung durch Hertz zur vollen Geltung kommen[1]). Immerhin hatte das Werk zuvor schon den Einfluß, daß Faraday's Kraftlinien-Gedanken allenthalben und so auch bei den Praktikern zunehmend zur Geltung kamen. Es war dies um so mehr von Wichtigkeit, als Faraday's Induktion allmählich immer schon zunehmend das Mittel zur Herstellung stärkster elektrischer Ströme geworden war, besonders zu Beleuchtungszwecken, indem die vergänglichen Stahlmagnete der Induktions-Maschinen durch die mittels ihres eigenen Induktions-Stromes sich steigernden Elektromagnete ersetzt wurden (1867). Was dabei zur heutigen Vollkommenheit dieser „Dynamo-Maschinen" und der ihnen gleichen Elektromotoren noch fehlte, war die beste Formung des Eisen- und des Kupfer-Kreises dieser Maschinen, und dazu zeigten Faraday's Kraftlinien endlich den einfachen, lange übersehenen Weg. Die unvorteilhaften langen Schenkel der Elektromagnete verschwanden, und die gedrungene, für die Kraftlinien-Entwicklung günstigste Form brachte die heute gewohnten hohen Wirkungsgrade bei der Verwandlung von mechanischer Energie in elektrische und umgekehrt. Die Grundlagen zur Starkstrom-Technik waren damit gefestigt.

Maxwell hat in seinem kurzen Leben auch noch manches andere vollbracht, wovon hier nur seine auf tiefstes Eingehen gerichteten, Clausius' Arbeiten ergänzenden Beiträge zur kinetischen Gastheorie genannt seien.

James Clerk Maxwell, geboren in Edinburgh, entstammte einer schottischen Familie mit altem Stammbaum. Er wurde am Landsitz seines Vaters erzogen, kam mit 13 Jahren zur Universität seiner Vaterstadt, drei Jahre später nach Cambridge. Nachdem er durch eine Reihe geometrischer, mathematischer, optischer und auch schon die Kraftlinien betreffender Veröffentlichungen sich ausgezeichnet hatte, erhielt er im Jahre 1856 die Professur der Physik in Aberdeen. Zwei Jahre später heiratete er. Von 1860 bis 1865 war er Professor der Physik an „King's College" in London; dort traf er noch Faraday. Später zog er sich

[1]) Hertz war es auch, der dieses Besondere samt den Gleichungen überhaupt erst, freigemacht von allem Beiwerk, klar hinzustellen vermochte, nachdem die Naturvorgänge selber ihre Lehre dazu gegeben hatten.

auf seinen Landsitz zurück, wo er — abgesehen von einer Reise nach Italien und kurzen Besuchen in London — ganz seiner wissenschaftlichen Arbeit lebte, aus welcher dann sein großes Werk über Elektrizität und Magnetismus hervorging. Im Jahre 1871 entschloß er sich nochmals eine Professur zu übernehmen; es war in Cambridge, wo damals als Neuerung ein besonderes physikalisches Laboratorium eingerichtet wurde, das er eröffnete. Doch schon 8 Jahre später, in seinem 48. Lebensjahre, war nach plötzlicher Erkrankung seinem Wirken ein Ziel gesetzt. Die so bedeutungsvolle Erfahrungs-Bestätigung des mathematischen Gebäudes seiner Theorie durch die Entdeckungen von Hertz hat er nicht erlebt.

Wilhelm Hittorf (1824—1914) und William Crookes (1832—1919).

Wie einst — 80 Jahre vorher — Galvani aus dem unerschöpflichen Reichtum der Natur eine neuartige Erscheinung heraustreten ließ, die, nicht wieder vergessen, die Entwickelung ganz neuer, ungeahnter Kenntnisgebiete herbeibrachte, so haben Hittorf und Crookes gewirkt, indem sie Vorgänge verfolgten, die bis dahin — außerhalb des Rahmens der gebräuchlichen, gelehrten Naturforschung stehend — nur als Merkwürdigkeiten galten, denen weiter nicht beizukommen sei. Es waren das die Vorgänge bei der elektrischen Entladung in verdünnten Gasen. Gegeben waren diese Vorgänge seit Guericke Luftpumpe und Elektrisiermaschine beigebracht hatte; Faraday, der später den Induktionsapparat als noch geeignetere Elektrizitätsquelle hoher Spannung dazu lieferte, hatte auch schon die höchst merkwürdigen, form- und farbenprächtigen Erscheinungen beobachtet, welche einen genügend luftverdünnten Raum erfüllen, wenn die elektrische Entladung ihn durchsetzt. Man konnte auch den allmählichen Übergang vom einfachen, kurzen Funken bei Atmosphärendruck — den Leibniz zuerst gesehen — bis zu diesen ausgedehnten und an Einzelheiten reichen Erscheinungen bei allmählich gesteigerter Luftverdünnung gut verfolgen. Jedoch, das Gewirre der dabei auftretenden Erscheinungen gab keinerlei Anhaltspunkte zur Auffindung eines Weges, der Verständnis hätte erhoffen lassen können.

Erst Hittorf und Crookes gelang die Auffindung dieses Weges, indem sie aus der Fülle der hier miteinander verknüpften, unverständlichen Vorgänge einen heraushoben und zum besonderen Untersuchungsgegenstand machten, der durch eine gewisse Einfachheit seines Verhaltens sich auszeichnete. Es war das ein an die negative Zuleitungsstelle

— Kathode, wie man sie auch hier, wie bei der Elektrolyse nannte — geknüpfter Vorgang, der wie eine von der Oberfläche dieser Zuleitungsstelle ausgehende gradlinige Strahlung sich verhielt: die von Hittorf entdeckten „Glimmlicht-Strahlen" oder „Kathodenstrahlen". Hittorf war Crookes in diesem Vordringen um 10 Jahre voraus. Doch hat Crookes den eingeschlagenen Weg als erster und zunächst einziger

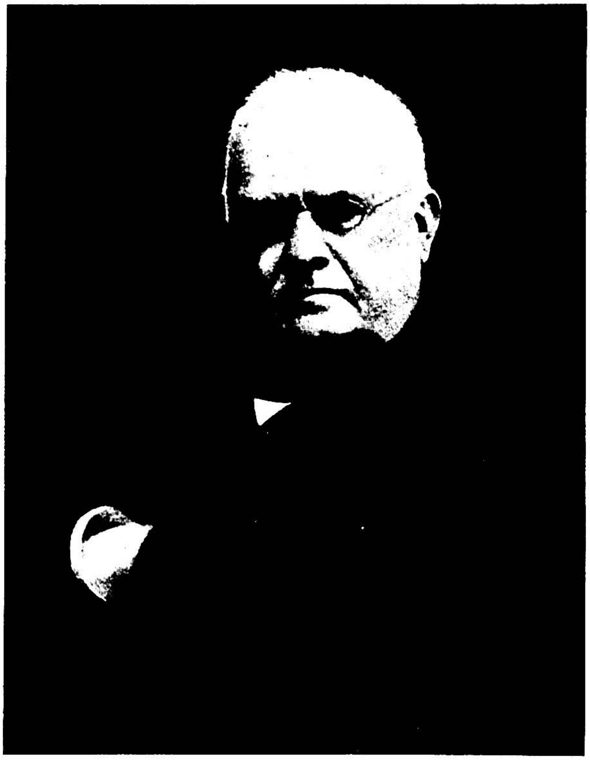


Bild 65. Wilhelm Hittorf.

Verstehender[1]) nach Hittorf sofort in dem Maße weiter zu verfolgen gewußt, als ihm bessere und neue Hilfsmittel — bessere Luftpumpen und technische Hilfen — zur Verfügung standen. Er hat sein Verstehen

[1]) Der Beobachter von Entladungserscheinungen waren vor und nach Hittorf immer Viele; es war das ein Feld, das leicht zu beliebig umfangreichen Beschreibungen von Gesehenem führte. Doch ist aus allen diesen Beschreibungen weitere Erkenntnis — bestenfalls — erst dann hervorgegangen, als von anderer Seite her angebahnt war, was alle diese Beobachtungen vermissen ließen: Das Streben nach einem Verstehen mittelst reiner Versuche.

durch gewaltiges weiteres Vordringen nach Herauslösung des Besonderen dieser Strahlungserscheinungen erwiesen, so daß von da ab genug bekannt war, forschenden Naturfreunden einen Ausblick zu zeigen, der fast unwiderstehlich nach bestimmter Richtung hin lenken mußte: zu reiner Beobachtung dieser Strahlen. Daraus hat sich dann — wenn dies auch erst nach 15 weiteren Jahren erfolgte — in der Tat kaum weniger entwickelt, als Crookes versprochen hatte, indem er sagte: „Hier liegen letzte Wirklichkeiten."

Crookes und Hittorf ergänzten einander in dieser Grundlegung in jeder Beziehung aufs allerbeste. Ist Hittorf ängstlich bemüht, nicht über gut verbürgte Feststellungen hinauszugehen, so gibt Crookes mit der Freude des Entdeckers Ausblicke, die diese Freude auch anderen mitzuteilen vermochten. Gingen diese Ausblicke auch teilweise in die Irre, so war doch richtig das Vertrauen zum Reichtum der Natur geblieben, das Crookes leuchten läßt, und das ebenso vertrauende und fähige Nachfolger mit aller Sicherheit auf den rechten Weg bringen mußte, wenn sie nur vorangingen. Hittorf's Veröffentlichungen wirkten trocken, fast abschreckend; ihr hoher Wert lag wie in der Tiefe verborgen. Crookes verkündete begeistert, was er beobachtete; er hatte allerdings in England auch die beste Gelegenheit hierzu[1]).

Wilhelm Hittorf war in Bonn geboren, wo sein Vater Kaufmann war, studierte dortselbst — nur kurze Zeit zwischendurch auch in Berlin — und erwarb mit 22 Jahren den Doktorgrad. Schon ein Jahr später habilitierte er sich, ebenfalls an der Universität seiner Vaterstadt, mit einer experimentellen Arbeit, zu der ihn eigene Beobachtungen bei Elektrolysen geführt hatten. Gleichzeitig erhielt er auch schon die Berufung an die Akademie (später Universität) zu Münster in Westfalen, um dort Physik samt Chemie zu lehren. Es war sehr erfreulich, daß so frühe ihm schon ein selbständiger Wirkungskreis eröffnet wurde. Jedoch, er wurde dann bis zum Ende seiner Tätigkeit an der gleichen Stelle belassen, wenn auch mit äußeren Aufbesserungen; einen Ruf nach einer größeren deutschen Universität hat er nie erhalten. Es ist ihm darin ähnlich Ohm ergangen[2]). Hittorf war allerdings wohl

[1]) Hittorf veröffentlichte seine Ergebnisse „Über die Elektrizitätsleitung der Gase" in Poggendorffs Annalen, Bd. 136, 1869. Von Crookes ist sein im Jahre 1879 in der „Royal Institution" gehaltener Vortrag „Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand" noch bekannter geworden — auch durch eine deutsche Übersetzung — als seine Veröffentlichungen in den Schriften der „Royal Society".

[2]) Auszeichnungen und Ehrungen im höheren Alter haben Beide erhalten; dies ist aber belanglos: Auf Geltung und Wirkungskreis bei Zeiten kommt es an. Daß kein maßgebender Sachkundiger in Deutschland um Hittorf sich kümmerte, wurde in besonderer Weise klar, als Crookes' spätere Leistungen allgemeiner Bewunderung sich erfreuten: Hittorf blieb dabei widerspruchslos ungenannt.

noch zurückhaltenderer Art als Ohm; aber da Letzterem seine vielen vertrauensvollen Gesuche an Ministerien und Fürsten nicht wesentlich zu vorteilhafterer Arbeitsgelegenheit geholfen hatten, ist das wohl gleichgültig. Im Alter von 65 Jahren trat Hittorf von seinem Lehramt in Münster zurück. Er bewohnte sein Haus mit Garten, das ihm seine gleich ihm unverheiratete jüngere Schwester bewirtschaftete. Es war ihm das Alter von 90 Jahren beschieden.

William Crookes war zu London geboren und lebte auch großenteils dort. Er scheint sich im Wesentlichen durch Literaturstudien und eigenes Experimentieren herausgebildet zu haben. Früh — mit 23 Jahren — übernahm er eine Stellung als Chemiker, die ihm auch die Gründung einer Familie ermöglichte. Seine wichtigen Arbeiten waren in seinem eigenen Laboratorium ausgeführt, das weit weniger beschränkt war als Hittorf's Universitäts-Laboratorium. Crookes erreichte das hohe Alter von 87 Jahren.

Aus Hittorf's und Crookes' Arbeiten haben sich in der Folgezeit bis heute schon große, neue Kenntnisgebiete der Physik entwickelt. Es war nur nötig, vor allem reine Versuche mit Hittorf's „Glimmlichtstrahlen", Crookes' „strahlender Materie", den Kathodenstrahlen, durchzuführen, zugleich so, daß sie unter mannigfaltigeren Bedingungen beobachtet werden konnten als bisher in der Entladungsröhre. Dies trat 15 Jahre nach Crookes' Veröffentlichung ein (1894) und führte sogleich zu einer großen Fülle neuer Naturkenntnis mit der Einsicht, daß den Strahlen auch noch weiter beizukommen sei. Von da ab folgten rasch aufeinander all die weiteren Fortschritte, deren Umfang hier nur kurz angedeutet werden kann: Es folgte die Entdeckung der Hochfrequenzstrahlen („Röntgen-Strahlen"), der Radioaktivität und des Radiums sowie der anderen radioaktiven Elemente höchsten Atomgewichtes und ihrer Strahlungen, die gesicherte Aufklärung der Natur der Kathodenstrahlen und dann auch der Strahlungen der radioaktiven Elemente, sowie verwandter Strahlungen, wie der „Kanalstrahlen"; die Elektrizitätsleitung in Gasen und schließlich besonders auch die Erscheinungen der Entladungen in den gasverdünnten Räumen — wovon Alles ausgegangen war — wurden verständlich. Die Kathodenstrahlen selbst zeigten sich als schnellbewegte, von materiellen Atomen freie negativ-elektrische Elementarquanten — Elektronen genannt —, wie sie schon Wilhelm Weber gedacht hatte, ohne aber noch über ihr tatsächliches Bestehen und noch weniger über die Möglichkeit ihrer gänzlichen Absonderung von der Materie etwas aussagen zu können. Nun waren in den Kathodenstrahlen die Elektronen entdeckt, und ihre Eigenschaften

waren erforschbar geworden. Dies führte zu erweitertem Verständnis vieler schon altbekannter elektrischer Vorgänge. Auch über die Atome der Materie selbst brachten Hittorf's und Crookes' Strahlen in den reinen Versuchen ganz neue Auskünfte; es wurde das Innere der Atome erforschbar trotz deren, sie den Sinnen unmittelbar entziehender Kleinheit. Alle Atome zeigten sich aufgebaut aus positiven



Bild 66. William Crookes.

und negativen Elementarquanten der Elektrizität in einer Weise, die immer noch weiter erforschbar ist[1]).

Den eröffneten neuen Möglichkeiten folgten bald auch technische Anwendungen. So zunächst auf medizinischem Gebiet, was die Knochenschatten der Hochfrequenzstrahlen unmittelbar nahegelegt hatten. Die Elektronen, als verfügbar gewordene Naturdinge, ließen sich ebenfalls zu vielerlei Zwecken verwenden, was noch stetig weiter fortschreitet;

[1]) Eingehend habe ich den Verlauf dieser Entwicklung an anderer Stelle dargestellt („Über Kathodenstrahlen", Vereinig. wiss. Verleger, Berlin 1920).

diese Anwendungen finden teils in Verbindung mit Hertz' elektrischen Wellen statt, was wir dort noch bemerken.

Ein hervorragendes neueres Ergebnis der fortgesetzten Untersuchungen über die Atome ist die Erkenntnis, daß ihre Umwandlung möglich ist; sie gelingt mittels Einwirkung sehr schnell bewegter Heliumatome, wie sie in den radioaktiven „Alphastrahlen" vorliegen, und auch durch andere Bestrahlungen. Es bedeutet dies die Möglichkeit, Elemente ineinander zu verwandeln. Freilich sind es immer nur vereinzelte Atome, die man bisher bleibend zu verändern vermag, und es ist daher nicht zu verwundern, daß alle Tatsachen der Chemie solche Möglichkeit nicht zeigen konnten.

Hiermit ist indessen Hittorf's und Crookes' Wirken und Nachwirken noch keineswegs erschöpft; es ist hier noch das Folgende hinzuzufügen.

Hittorf war der Erste, der Faraday's Untersuchungen über die Elektrolyse wesentlich weiterführte. Er hat die Wanderungen der Jonen in den Elektrolyten bei Stromdurchgang eingehend quantitativ untersucht, was den Weg zur Kenntnis von der inneren Beschaffenheit der Elektrolyte — wie z. B. der verdünnten Salzlösungen — eröffnete. Hieran knüpfte dann mit weiteren Erfolgen Friedrich Kohlrausch seine Untersuchungen, auf welchen die heutige genaue Kenntnis von den Elektrolyten und den Vorgängen in ihnen bei der Elektrolyse beruht[1]).

Hittorf hat außerdem auch die eingehende Untersuchung der Elektrizitätsleitung in Flammen angebahnt, wozu er zum erstenmal des Bunsenbrenners zu reinen Versuchen sich bedienen konnte.

Crookes war der Erste, der dem aus den Kraftlinieneigenschaften vermuteten Lichtdruck aus der Erfahrung beizukommen suchte. Dieser Druck, ausgeübt auf jede von Licht oder von Ätherwellenstrahlung

[1]) Friedrich Kohlrausch, lebte 1840 bis 1910, war zu Rinteln an der Weser geboren. Sein Vater, Lehrer am Gymnasium, hatte mit W. Weber die wichtigen Messungen mit dem Ergebnis der Lichtgeschwindigkeit als Verhältniszahl rein elektrischer Größen ausgeführt; der Vater war es in diesem Falle auch, der den Sohn veranlaßte, bei W. Weber in Göttingen Physik zu studieren. Später habilitierte sich Friedrich Kohlrausch auch dort und wurde dann außerordentlicher Professor. Im Jahre 1871 wurde er an die Technische Hochschule in Darmstadt berufen, 1875 nach Würzburg, 1888 nach Straßburg. Von 1894 bis 1905 war er Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Kohlrausch hat auf die Ausbildung des elektrischen Meßwesens größten, fördernden Einfluß ausgeübt; von ihm rührt auch die heute allgemein gebrauchte exakteste Festhaltung der Stromeinheit (des „Ampere" oder „Weber") durch die von ihm mit unübertroffener Genauigkeit schon im Jahre 1881 gemessene Silberabscheidung her.

überhaupt getroffene Fläche, war von Maxwell auch seiner Größe nach berechnet worden; er ist auch bei größten zugänglichen Lichtintensitäten außerordentlich klein, so daß schon geringe Luftströmungen ihn leicht verbergen können. Crookes stellte Versuche in ausgepumpten Gefäßen an. Dabei trat allerdings ein Druck auf bestrahlte Flächen auf; aber es war nicht der Strahlungsdruck, sondern eine neue Erscheinung, herrührend von den im damals erhältlichen besten Vakuum immer noch einigermaßen reichlich vorhandenen Gasmolekülen. So fand Crookes das „Radiometer" (die „Lichtmühle"), womit zwar ein besonderer Nachweis der Bewegungen der Gasmoleküle, wie die kinetische Gastheorie sie angibt, erbracht war, der Lichtdruck aber doch wegen seiner Kleinheit verdeckt blieb. Es gelang in späterer Zeit mit verbesserten Pumpen, vergrößerter Lichtintensität und vor allem nach Kenntnis eben der immer etwas störenden Radiometer-Wirkung, den Strahlendruck doch nachzuweisen, zu messen und in Übereinstimmung mit Maxwell's Berechnung zu finden; er ist von nicht geringer Wichtigkeit für weitere Schlüsse geworden. Im Himmelsraum, überall wo größte Strahlungsintensitäten und große bestrahlte Flächen vorkommen, kann dieser Strahlungsdruck stark zur Wirkung kommen; er kann dann sogar die Gravitation überwiegen.

Crookes war auch der Erste, der Bunsen's Element-Entdeckungen mittels der Spektralanalyse fortsetzte; er fand das Thallium (1861). Indem in gleicher Weise auch später immer noch weitere, wegen ihres nur spurenweisen Vorkommens in den zugänglichen, der Erdrinde entnommenen Stoffen verborgen gebliebene Elemente aufgefunden wurden, eröffnete sich bald auch die Möglichkeit, sämtliche bekannte Elemente, geordnet nach steigendem Atomgewicht, in übersichtliche Zusammenstellung zu bringen, so daß Reihen von Elementen mit einander ähnlichen Eigenschaften ersichtlich wurden. Das so gewonnene „natürliche System der Elemente" ließ dann auch von selber die Lücken erkennen, in welche noch aufzufindende Elemente gehörten, und die Zahl dieser Lücken nähert sich jetzt bereits der Null. Von Crookes schon betriebene Studien über Lichterregung — Fluoreszenz — durch Kathodenstrahlen haben in der neueren Ausbildung, wobei unsichtbare, hochfrequente Fluoreszenz benutzt wird, ein besonders wirksames Mittel zur Auffindung der letzten, noch fehlenden Elemente geliefert. Die mit Kristallgittern auf photographische Schichten entworfenen Spektren dieser Fluoreszenzen zeigen durch neue Linien nicht nur die Anwesenheit noch unbekannt gebliebener Elemente an, sondern verraten durch die Lage der Linien auch die Ordnungszahl des neuen Elementes in jenem natürlichen System, wodurch unmittelbar auch die ungefähre Größe des Atomgewichtes und manche Andeutung des chemischen Verhaltens des Elementes gegeben ist.

Josef Stefan (1835—1893)
und
Ludwig Boltzmann (1844—1906).

Diese beiden Forscher haben die von Kirchhoff angebahnten Einsichten über die Licht- und Wärme-Strahlung heißer Körper so wesentlich gefördert, daß in Anknüpfung an ihre Arbeiten die große Menge hierher gehöriger Kenntnis bis heute weiter sich entwickeln konnte. Kirchhoff hatte durch sein Gesetz die Aussendung (Emission) der Strahlung in feste Verbindung gebracht mit deren Verschluckung (Absorption). Dadurch war schon die Möglichkeit gegeben, bei weiterer Untersuchung der Eigentümlichkeiten der Aussendung sich unabhängig zu machen vom Einfluß der stofflichen Beschaffenheit des aussendenden heißen Körpers, um nun den Einfluß der Temperatur für sich allein eingehend untersuchen zu können. Es kam darauf an, diesen Einfluß an einem vollkommen schwarzen Körper festzustellen, d. i. an einem, der Strahlen aller Wellenlängen vollkommen absorbiert. Tut er dies, so hat er das größte mögliche Absorptionsvermögen, und hierin sind alle schwarzen Körper einander gleich, woraus sie auch bestehen mögen; denn mehr als Alles kann keiner absorbieren. Dann sind aber nach Kirchhoff's Gesetz alle schwarzen Körper auch in Bezug auf Emission einander gleich, und zwar müssen sie alle mit dem Höchstmaß von Emissionsvermögen begabt sein, das dann nur mehr von der Temperatur abhängig ist. Es ist also die Emission eines vollkommen schwarzen Körpers in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur zu untersuchen, um das Wesentliche dieser Abhängigkeit zu finden. Wenn hierzu die gesamte Emission eines Körpers gemessen werden soll, darf man das stets mitvorhandene Ultrarot nicht übersehen; man kann also nicht etwa mit dem Auge messen, sondern man läßt die vom Körper ausgehende Strahlung auf ein geschwärztes, genügend empfindliches Thermometer, etwa eine geschwärzte Thermosäule fallen und mißt den dabei erfolgenden Temperaturanstieg; dieser gibt das richtige Energiemaß für die Gesamtstrahlung, da dieselbe von der geschwärzten Fläche des Meßinstrumentes vollkommen absorbiert wird, wobei ihre ganze Energie in Gestalt von Wärme und damit in meßbarer Form erscheint. Messungen dieser Art waren zu Stefan's Zeit (1879) schon von mehreren Seiten veröffentlicht worden. Stefan sammelte sie alle und verwertete sie kritisch, indem er besonders auch auf etwaige Mitwirkung der Wärmeleitung in der Luft achtete, was teilweise übersehen worden war. Gut brauchbare Messungen waren z. B. von Tyndall vorhanden, der die Strahlung eines elektrisch geheizten Platindrahtes

von Temperaturen unter der Rotglut bis nahe zum Schmelzpunkt des Platins gemessen hatte. Stefan findet aus solchen Messungen übereinstimmend, daß die Gesamtstrahlung eines schwarzen Körpers proportional der vierten Potenz seiner absoluten (von —273° C an gemessenen) Temperatur ist. Dieser Zusammenhang ist seither als „Stefan's Gesetz" bekannt. Stefan vermochte aus vorhandenen Messungen der auf der Erde ankommenden Strahlung der Sonne, verglichen mit der Strahlung irdischer Quellen, mit Hilfe seines Gesetzes zum erstenmal auch eine gut gegründete Angabe für die Temperatur der Sonne berechnen. Er fand rund 6000° C (absolut), was mit aller neueren Erfahrung gut stimmt.

Boltzmann gelang es, das von Stefan aus der Erfahrung gewonnene Gesetz durch einen Gedankenversuch und die zugehörige Rechnung in Verbindung zu bringen mit Clausius' 2. Hauptsatz der Wärmetheorie und mit dem Maxwell's Theorie entsprechenden Strahlungsdruck (1884). Dies war von großer Wichtigkeit, da hierdurch Stefan's Gesetz plötzlich nicht mehr auf die von Stefan zugrunde gelegten besonderen Beobachtungen allein gestützt war, sondern mitten im schon festgefügten Bau der durch die genannten Theorien miteinander verbundenen großen Tatsachen-Komplexe zu ruhen kam.

In dieser Weise war, 24 Jahre nach Kirchhoff's fester Begründung seines Gesetzes von der Emission und Absorption, nun Stefan's Gesetz als ein zweites, die Wellen-Strahlung heißer Körper betreffendes Gesetz ebenso fest begründet hinzugefügt worden. Von da ab erfolgte schnellerer Fortschritt in dieser Richtung um so mehr als Boltzmann auch bereits zwei wesentliche, umfassende Vorarbeiten hierzu hinterlassen hatte, welche bis in die neueste Zeit weiterwirkten. Durch bewundernswerte, sehr umfassende Studien über die Bewegungen der Gasmoleküle wußte er, gestützt auf Clausius' und Maxwell's vorangegangene Arbeiten, den zur Anwendung des 2. Hauptsatzes wichtigen Begriff der Entropie in feste Verbindung zu bringen mit der Größe der Wahrscheinlichkeit des Zustandes der betrachteten Körpergruppe, wodurch der Verwendung des Entropie-Begriffes zu weiteren Schlüssen eine neue Grundlage gegeben war. Außerdem hat Boltzmann im Verlaufe dieser Untersuchungen (im gleichen Jahre 1877) auch eine eigentümliche Rechenweise für abgestufte (quantenhafte) Energieverteilung unter Gasmolekülen eingeführt[1]), die später in etwas veränderter Anwendung von besonderer Wichtigkeit wurde.

[1]) Siehe Boltzmann's wissenschaftliche Abhandlungen, herausgegeben von F. Hasenöhrl, Bd. II, S. 167.

Die nach Boltzmann noch übriggebliebenen großen Fragen, die Wellenstrahlung heißer Körper betreffend, bezogen sich auf die Verteilung der durch Stefan's Gesetz gegebenen Gesamtstrahlung auf die verschiedenen Wellenlängen des Spektrums. Schon die einfachste Beobachtung eines allmählich zum Glühen gebrachten Körpers, etwa eines Stückes Kohle oder Eisen zeigt, daß von der begin-



Bild 67. Josef Stefan.

nenden Rotglut (etwa 600° C) an zu dem anfänglich allein vorhandenen unsichtbaren Ultrarot allmählich sichtbares Rot, dann auch Gelb hinzukommt, bis schließlich bei Weißglut auch das Blau und Violett im Spektrum mitvertreten ist. Es verschiebt sich also das Gebiet der ausgesandten Strahlen mit steigender Temperatur allmählich von längeren zu kürzeren Wellen hin. Das Gesetz dieser Verschiebung war wieder durch einen Gedankenversuch aus schon feststehender Kenntnis ableitbar; es war diesmal außer Clausius' 2. Hauptsatz der Wärmetheorie und Maxwell's Lichtdruck auch noch Doppler's Prinzip hinzu-

zuziehen. Das Gesetz sagt, daß die von einem vollkommen schwarzen Körper am stärksten ausgesandte Wellenlänge verkehrt proportional seiner (absoluten) Temperatur ist.

Weiter blieb dann noch die Frage offen, wie die neben dieser stärkst ausgesandten Wellenlänge stets noch vertretenen längeren und kürzeren Wellen im Spektrum verteilt sind, die Frage also nach der genauen Energieverteilung im ganzen Spektrum der Aussendung eines schwarzen Körpers von beliebiger Temperatur. Zur Beantwortung dieser Frage reichte die bereits vorhandene, in Theorien gefestigte Kenntnis nicht aus. Es waren besondere, neue Beobachtungen nötig; die gesamte spektrale Energieverteilung mußte mittels der Thermosäule oder ähnlicher feiner Temperaturmesser eingehend aufgenommen werden, bevor weitere Schlüsse möglich wurden. Hierbei kam es darauf an, als Strahler einen zuverlässig vollkommen schwarzen Körper — nicht etwa nur Ruß oder derlei — zu benutzen. Zur Verwirklichung eines solchen Körpers war aber von Kirchhoff der Weg schon gezeigt: Man hatte einen Hohlraum mit kleinem Loch zu nehmen; das Loch verhält sich wie die Oberfläche eines vollkommen schwarzen Körpers. Denn fällt ein Lichtstrahl irgendwelcher Wellenlängen von außen auf das Loch, so kommt er in den Hohlraum, und wenn dessen Innenwände nicht gerade vollkommen spiegeln, wofür man leicht sorgen kann, so findet höchstenfalls nur ein sehr kleiner Teil der eingestrahlten Energie beim Loch wieder hinaus, und man kann diesen Teil durch weitere Verkleinerung des Loches oder durch Vergrößerung des Inneren des Hohlraumes auch beliebig weiter einschränken. An jedem Kellerloch oder an der Pupille des Auges kann man diese Schwärze einer Hohlraumöffnung sehen. Verhält sich aber die Öffnung in Bezug auf Absorption wie ein vollkommen schwarzer Körper, so muß sie es — nach Kirchhoff's Gesetz — auch für die Emission tun. Man heize also den Hohlraum auf gemessene Temperaturen, so wird seine Öffnung jedesmal wie ein sicher vollkommen schwarzer Körper aus dem Inneren herausstrahlen. Diese Strahlung wurde dann spektral zerlegt und auf ihre Energieverteilung im Spektrum untersucht. Die zunächst in Kurven darzustellenden Ergebnisse — für jede Temperatur eine Kurve mit Wellenlänge als Abszisse und zugehöriger Energie als Ordinate — konnten Deutungen erst erfahren, wenn es gelang, die Kurven nach Des Cartes' Weise in eine Gleichung zu fassen, die dann umgekehrt erlaubte, sämtliche Beobachtungs-Ergebnisse so vollkommen zu liefern, als sie genau sind. Die Herstellung dieser Gleichung und zugleich ihre Deutung gelang — der großen Verwickeltheit der bei der Strahlung eines festen Körpers zusammenwirkenden Vorgänge entsprechend — trotz Boltzmann's gediegener Vorarbeit nur

allmählich nach mehrerem Probieren. Das Ergebnis war aber auch etwas ganz Neues, Unerwartetes. Vorgegeben war, nach Maxwell's — damals von Hertz schon bestätigter — Theorie und nach den Kenntnissen vom Aufbau der Materie aus Molekülen und Atomen, deren ungeordnete Bewegungen im Sinne der kinetischen Gastheorie die Wärme des Körpers bedingen, daß der strahlende schwarze Körper als



Bild 68. Ludwig Boltzmann.

ein Haufen von elektrischen Oszillatoren (Wellenerregern) anzusehen sei, die auf alle möglichen Wellenlängen absorbierend (in Resonanz) anzusprechen vermögen (entsprechend der Schwärze des Körpers) und die ebenso alle Wellenlängen auch auszusenden vermögen (entsprechend Kirchhoff's Gesetz), wobei sie die dazu nötige Energie aus dem Wärmeinhalt des Körpers bezögen. Die Frage war: Wie richten sich die Atome unter diesen Umständen als Strahler ein, so daß dabei die beobachtete Energieverteilung als Ergebnis erscheint? Die Antwort,

zu deren Erlangung schon Boltzmann's Rechnungen über stufenweise (quantenmäßige) Energieverteilungen wie vorahnend den Weg gezeigt hatten, war diese (wenn man die aus letzter Zeit stammende Deutung hinzunimmt): Jedes Atom strahlt zwar in der Wellenlänge oder mit der Schwingungszahl, die ihm eigen ist, aber es strahlt nicht in beliebigen, sondern in abgemessenen Energiemengen aus (quantenmäßig), so daß es strahlungslos bleibt, solange bis es die bestimmte Energiemenge (sein „Energiequant" oder „Lichtquant") aus der Umgebung voll aufgenommen hat, worauf diese gesamte Energiemenge in einem Wellenzug zur Ausstrahlung gelangt. Die Größe dieser Energiemenge ist dabei durch die Schwingungszahl des Atoms bemessen; sie ist dieser einfach proportional. Dies ist der Inhalt der „Quantentheorie"; man konnte ihn bald vermutungsweise dahin erweitern, daß Atome überhaupt nur quantenmäßig Energie umsetzen, wobei die Größe der Quanten stets einer bei der Umsetzung ins Spiel kommenden Schwingungszahl (dem Reziproken einer maßgebenden Zeit) proportional ist nach Maßgabe eines Proportionalitätsfaktors, der stets derselbe ist, wie er aus der Strahlung der schwarzen Körper sich ergeben hatte. Von einer Theorie hier zu reden — nicht mehr von einer Quanten-Hypothese — ist berechtigt, da schon mehrere Vorgänge gut verfolgbar wurden, bei welchen diese quantenmäßige Energieumsetzung in den Atomen zutrifft, und besonders weil der genannte Proportionalitätsfaktor einen exakt nachprüfbaren, quantitativen Zusammenhang herstellt zwischen der spektralen Energieverteilung der Strahlung des schwarzen Körpers und zwei schon gut gemessenen Naturkonstanten, nämlich dem elektrischen Elementarquant und der Lichtgeschwindigkeit[1]).

Josef Stefan war in einem kleinen Ort bei Klagenfurt in Kärnten als Sohn armer Eltern slawischen Stammes geboren, die einen kleinen Laden für Lebensmittelhandel hatten und des Lesens und Schreibens unkundig waren. Nachdem er erst Mehlsäcke getragen hatte, wurde es möglich gemacht, ihn die Schulen in Klagenfurt besuchen zu lassen, wo er überraschende Fortschritte machte, so daß er dann in Wien die Universität besuchen durfte. Schon nach vierjährigem Studium begann die fast ununterbrochene Folge seiner wissenschaftlichen Veröffentlichungen, die allmählich alle Teile der Physik betrafen. Diese Vielseitigkeit und die tiefgehende Gründlichkeit, mit der er alles anfaßte, machten

[1]) Eingehenderes über diese neue Entwickelung findet man bei W. Wien, „Über die Gesetze der Wärmestrahlung" (Leipzig, J. A. Barth, 1912) und M. Planck, „Die Entstehung und bisherige Entwickelung der Quantentheorie" (ebendort 1920), sowie in W. Wien's „Handbuch der Experimental-Physik", Bd. XXIII, 2 (Beitrag „Lichtelektrische Wirkung"), S. 1072—1080. Zusammenfassend: „Deutsche Physik" Bd. II, S. 188 u. f. und Anhang WV.

Stefan auch sehr erfolgreich in der naturwissenschaftlichen Ausbildung der Mittelschul-Lehrkräfte der damaligen Zeit, als er, nach 7jähriger eigener Lehrtätigkeit an einer Mittelschule im Alter von 25 Jahren als ordentlicher Professor der Physik an die Universität Wien berufen worden war, wo er dann durch 33 Jahre bis zu seinem Tode wirkte. Seine Vorlesungen waren von seltener Klarheit und Vollendung. Von seinen experimentellen Arbeiten sind die schwierigen Untersuchungen über Wärmeleitfähigkeit der Gase besonders hervorzuheben, weil sie eine neue Prüfungsmöglichkeit — und Bestätigung — der so vielseitig wichtig gewordenen kinetischen Gastheorie lieferten, wozu bis dahin von keiner Seite genügend reine Versuche und genügend exakte Messungen der Wärmeleitung bei Gasen vorlagen. Seine Lebensweise war äußerst einfach und zurückgezogen; er war auffallend schweigsam, doch stets bemüht, ehrliches wissenschaftliches Streben unaufgefordert zu fördern, was er als selbstverständliche vaterländische Verpflichtung betrachtete. Boltzmann und Hasenöhrl waren seine Schüler. „Naturforscher-Versammlungen" besuchte er kaum, ebensowenig wie Bunsen in seinen älteren Tagen. Eine Aufheiterung seines Wesens trat ein, als er im Alter von 56 Jahren sich verehelicht hatte; doch schon zwei Jahre später verstarb er nach kurzer Krankheit.

Ludwig Boltzmann war in Wien geboren, studierte dort Mathematik und Physik, vorwiegend bei Stefan, dessen Assistent er auch wurde. Schon im Alter von 25 Jahren folgte er einem Rufe als außerordentlicher Professor der Physik an die Universität Graz und kurze Zeit darauf als Professor der Mathematik an die Universität Wien. Nachdem er auch wichtige experimentelle Arbeiten, besonders über die Dielektrizitätskonstanten der Gase ausgeführt hatte, wobei eine bestimmte Folgerung aus Maxwell's Theorie geprüft wurde, erfolgte 1876 seine Berufung als Hauptvertreter der Physik an die Universität Graz, wo er bis 1889 blieb und einen großen Teil seiner wichtigsten Arbeiten ausführte. Alsdann folgte er einem Rufe nach München (Kirchhoff's Nachfolge in Berlin hatte er abgelehnt[1])), bis das Jahr 1894 ihn als Nachfolger von Stefan wieder nach Wien brachte. Nach 6jähriger Wirksamkeit dortselbst siedelte er für zwei Jahre nach Leipzig über, um aber doch schließlich nach Wien zurückzukehren, wo die Professur für ihn solange frei gehalten worden war. Es schien für ihn und seine Familie doch die Heimat das Beste zu sein. Jedoch, 6 Jahre später,

[1]) Die Anerbietungen dort seien reich gewesen; doch konnte ihm, der Ungebundenheit liebte, Berlin nicht behagen, wo ihm von dort sehr maßgebender, nahestehender (weiblicher) Seite bedeutet wurde, daß er beim Essen sich nicht geeignet zu benehmen wisse.

im Alter von 62 Jahren, machte er auf einer Reise gewaltsam seinem Leben ein Ende. In der gesamten von uns betrachteten Reihe der großen Naturforscher war er damit der Erste, dem es so sehr wenig auf Erden mehr gefallen mochte. Körperliche Leiden und zeitweiliger Mißmut können dies nicht allein bewirkt haben; davon waren vorher schon Viele bedrückt gewesen. Hier liegt in den Tiefen der Menschheits-Entwickelung Verborgenes[1]). Jedenfalls war Boltzmann der letzte hervorragende Forscher in Deutschland, der im Kreise großer Versammlungen von Physikern noch erschien, um seine im Geiste der vorhergegangenen großen Forscher gepflegte Meinung offen und mit Nachdruck, ja gelegentlich in urwüchsiger Weise zum Ausdruck zu bringen und der dabei immerhin noch einiges Verständnis fand.

Heinrich Hertz
(1857—1894).

Die Bestätigung von Maxwell's in seinen Gleichungen enthaltener Theorie, welche H. Hertz brachte, erfaßte diese Theorie an dem Kernpunkt dessen, was überhaupt zweifelhaft an ihr war, an der Frage nach dem Bestehen oder Nichtbestehen „elektrischer Wellen" mit ihren zugehörigen, durch die Theorie klar vorgezeichneten Eigenschaften. Waren diese Wellen herstellbar und nachweisbar und besaßen sie die geforderten Eigenschaften, so war an der Theorie nichts mehr zweifelhaft und man konnte sie dann umgekehrt zu sicherer Führung in noch übrigbleibenden Einzelfragen benutzen. Indem Hertz diesem, trotz aller vorhandenen Vorarbeiten zu seiner Zeit noch ganz im Unklaren liegenden, ja überhaupt so gut wie nicht gesehenen Ziel[2]) erst

[1]) Boltzmann's wichtigste, schwierige Untersuchungen über die Molekularbewegung und die Entropie, deren fruchtbare Weiterentwickelung wir oben verfolgten, stammen aus seinen jüngeren Jahren. In seinen späteren, kurz vor seinem Tode von ihm herausgegebenen „Populären Schriften" ist manches nicht standhaltend.

[2]) Es ist sehr bemerkenswert, daß in den 15 Jahren — von Maxwell's Veröffentlichung seines Werkes „Über Elektrizität und Magnetismus" bis zu Hertz' Entdeckungen — schon mancherlei über „Maxwell's Theorie" und besonders „Elektromagnetische Lichttheorie" geschrieben und an den Universitäten vorgetragen worden war, ohne daß aber dabei auch nur der Anfang eines Weges zu jenem Ziele klar gemacht worden wäre. Man wälzte eben nur Maxwell's Gleichungen, nicht Maxwell's oder Faraday's Gedanken; man trieb mathematisches Spiel, nicht Naturwissenschaft, und dies blieb unfruchtbar. Hertz war der Erste, der nicht nur die Gleichungen sah und mit ihnen als Mathematiker zu rechnen wußte, wo es notwendig war, sondern der auch das Gedankengebäude der Urheber vor sich sah und in demselben sich zu bewegen wußte.

allmählich, dann überraschend plötzlich sich näherte, es als tatsächlich vorhanden nicht nur, sondern mit aller Sicherheit erfaßbar zeigte, hatte er zugleich eine neue Erscheinungswelt aufgedeckt und zur Verfügung gestellt: Er war damit auch der Entdecker der elektrischen Wellen und der „Strahlen elektrischer Kraft" geworden (1888). Was Alles für die Naturerkenntnis daraus folgte, soll noch angedeutet werden; was in den Anwendungen folgte, ist heute als „drahtlos" genügend bekannt[1]). Es sei vor allem der von Hertz eingeschlagene Weg, von den vorausgegangenen vorsichtigen Gelände-Erkundungen abgesehen, kurz angegeben.

Daß die fraglichen elektrischen Wellen von den elektrischen Schwingungen ausgehen müßten, welche schon W. Thomson in jeder Beziehung berechnen gelehrt hatte, und deren Zustandekommen beispielsweise bei der Entladung von Kleist'schen (Leydener-) Flaschen auch bereits nachgewiesen war, dies war durch den Sinn von Maxwell's Gleichungen gegeben. Aus den Beobachtungen bei den Flaschen-Entladungen war auch die Schwingungszahl dieser Entladungen ermittelt worden, indem man den Entladungsfunken im Drehspiegel beobachtete, wobei es deutlich sichtbar wurde, daß bei jeder Entladung eine Anzahl kurz nacheinander folgender hin- und hergehender Funken vorhanden ist, deren Zwischenzeiten als die halbe Schwingungsdauer der Entladung so auch ermittelbar wird, womit auch die Schwingungszahl gegeben ist. Diese Schwingungszahlen gingen in die Hunderttausende für 1 Sekunde. Sollten von diesen Schwingungen die von Maxwell gedachten transversalen (Quer-)Wellen ausgehen und mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinauslaufen, so war die zu erwartende Länge der Wellen — gemessen von Berg zu Berg etwa — in der schon von Newton für alle Wellen klar gemachten Weise aus Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Schwingungszahl leicht berechenbar; sie ging in die Kilometer, und dies war viel zu lang nicht nur für die Räume innerhalb deren man die Wellen nachweisen und untersuchen wollte, sondern vor allem auch deshalb, weil die in der erzeugenden Entladung aufgewandte Energie gar nicht ausreichen konnte, um bei der unzweifelhaft mit der räumlichen Ausbreitung verbundenen Intensitätsabnahme

[1]) Das noch an Drahtleitungen gebundene Telephon wurde von dem Frankfurter Lehrer der Physik, Sohn eines Bäckermeisters, Philipp Reis erfunden (1861); erst ziemlich spät wurde es wesentlich vervollkommnet, was mit den schon vorrätigen Erkenntnissen der Naturforschung auch schneller möglich gewesen wäre. Heute, da reichlich naturwissenschaftlich ausgebildete Techniker vorhanden sind, wird nahezu Alles, was die Fortschritte der Naturforschung bieten, fast sofort zu Anwendungen ausgebaut, wie jene „drahtlosen" Künste, Rundfunk, Fernsehen usw. zeigen.

in Kilometer-Abständen noch etwas merken, also überhaupt nur eine einzige so lange Welle mit Berg und Tal merklich erzeugen zu können. Daraus war es klar, daß, um etwaige Wellen merklich zu machen, sehr viel schnellere Schwingungen, als bisher studiert, erforderlich sein würden; denn die Wellenlänge ändert sich verkehrt proportional der Schwingungszahl. Diese schnelleren Schwingungen waren nach W. Thomson's Berechnung bei kleineren sich entladenden Kapazitäten und bei kleinerer Selbstinduktion in der Entladungsbahn zu erwarten. Daß unter solchen Umständen tatsächlich Schwingungen auftreten, dafür bemerkte Hertz gute Zeichen beim Experimentieren mit elektrischen Entladungen, und hiermit begann die Reihe der Arbeiten, die innerhalb zweier Jahre zum vollen Erfolg führten.

Um die unsichtbaren Wellen, ja überhaupt das Stattfinden der schnellen Schwingungen in den durch Funken-Entladungen erregten Leitern nachzuweisen, bediente sich Hertz des Mittels der Resonanz. Es ist dies die an Schallwellen schon von Galilei richtig erkannte Erscheinung des Mitschwingens, die nur bei genauer Abstimmung auf gleiche Schwingungsdauern stattfindet. Im Falle der elektrischen Resonanz werden die beiden, auf gleiche elektrische Schwingungsdauer gebrachten Leiter geeignet nebeneinander gestellt; wird dann der eine Leiter — der „Oszillator" — durch eine Funkenentladung zum Schwingen gebracht, so treten am andern — dem „Resonator" — Fünkchen auf zum Zeichen, daß er mitschwingt und also auch daß überhaupt eine Schwingung vorhanden ist. Daß die Übertragung vom Oszillator zum Resonator durch Wellen stattfindet, kann so nicht erwiesen werden; vielmehr ist die so beobachtete Erscheinung ganz einfach als ein gehäufter Induktionsvorgang aufzufassen, weshalb der Oszillator auch „primärer Leiter", der Resonator „sekundärer Leiter" genannt werden kann. Um Wellen nachzuweisen, müssen die beiden Leiter in genügend großem Abstand voneinander sein, wobei die Schwierigkeit der mit dem Abstand zunehmenden Abschwächung der Wirkung eintritt. Daher versuchte Hertz zuerst, die Schwingungen an Drähten fortzuleiten. Da bei solcher Fortleitung die schon seit Gauß' und Weber's Einführung des elektrischen Telegraphen gemessene Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit gilt, mußten an den Drähten Wellen derselben Länge sich nachweisen lassen, wie sie nach Maxwell's Theorie auch im freien Raume um den Oszillator vorhanden sein sollten. Dieser Nachweis von Drahtwellen gelang, indem die Wellen stehend gemacht wurden, ganz wie es bei Seilwellen, Wasserwellen oder Schallwellen möglich ist, indem man sie in sich selbst zurückreflektieren läßt, was bei den elektrischen Drahtwellen durch isoliertes Endenlassen der Drähte sehr einfach erreichbar war. Hertz konnte dann Knoten und Bäuche elektrischer Kraft durch

Fünkchen an den Drähten nachweisen, und der doppelte Abstand vor Knoten zu Knoten gab — wie bei jeder stehenden Welle — die Wellenlänge. Es gelang dann aber weiter auch, solche stehenden Wellen ohne Drähte, im freien Raum zwischen dem Oszillator und einer reflektierenden Wand nachzuweisen und ebenso die Wellenlänge auszumessen.



Bild 69. Heinrich Hertz.

Gleichheit der Wellenlänge mit der an den Drähten gefundenen würde gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit in beiden Fällen, d. i. die von Maxwell vorausgesetzte Lichtgeschwindigkeit bedeuten. Dieser wichtige Nachweis machte Hertz einige Schwierigkeiten, da die ihm zur Verfügung stehenden Räume zu klein für ungestörte Entwickelung der Wellen waren; der Nachweis gelang etwas später (1893) befriedigend bei Wieder-

holung der Versuche in einer großen Halle[1]). Zur Reflexion der Wellen erwies sich eine metallisch leitende Wand geeignet, was auch in Übereinstimmung mit Maxwell's Theorie ist. An der Wand selbst ist dann ein Knoten der elektrischen Kraft; man erhält dort keine Fünkchen im Resonator. An den Bäuchen, wo die Fünkchen auftreten, ist auch die Transversalität der Wellen nachweisbar; die elektrische Kraft steht senkrecht zur Laufrichtung der Wellen. Es ließen sich dann auch die frei fortlaufenden Wellen um den Oszillator mittels des Resonators befriedigend studieren und mit dem nach Maxwell's Gleichungen zu Erwartenden vergleichen, wobei Übereinstimmung gefunden wurde so weit zu sehen war.

Damit waren jene Wellen im Äther gefunden, die den Lichtwellen in Allem völlig gleich sind, nur an Länge verschieden von ihnen. Während die von Fraunhofer und Fresnel ausgemessenen Wellen des sichtbaren Lichtes Längen haben, die nach zehntausendtel Millimetern zählen, hatte Hertz hier unsichtbare Lichtwellen von Meterlänge, oder bei noch weiter verkleinertem Oszillator von Dezimeterlänge hergestellt und eingehend auf ihre elektrischen und magnetischen Kräfte hin untersuchbar gemacht. Es konnte kein Zweifel mehr sein, daß auch die Wellen des sichtbaren Lichtes solche Wellen elektrischer und magnetischer Kraft sind, wenn auch diese Kräfte bei der Kleinheit der Wellen nicht mit den gewöhnlichen Mitteln nachweisbar sind. Einen besonderen Nachweis dafür, daß die Wellen der elektrischen Oszillatoren alle Eigenschaften haben, die an langen Lichtwellen zu erwarten wären, lieferte Hertz noch durch seine sehr bekannt gewordenen Hohlspiegel-Versuche. Hierbei erhielt er „Strahlen elektrischer Kraft" gleich den Lichtstrahlbündeln von Scheinwerfern und er konnte auch die Brechbarkeit dieser Strahlen in einem Prisma nachweisen und messen, wobei wieder alles in Übereinstimmung mit Maxwell's Gleichungen sich zeigte. So war nicht nur die elektromagnetische Natur der Lichtwellen und aller Lichterscheinungen nachgewiesen und klargestellt, sondern überhaupt gezeigt, daß alle bekannten elektrischen und magnetischen Erscheinungen samt dem Licht Vorgänge gleicher Art in ein und demselben Äther sind, nur in verschiedener räumlicher Anordnung, aber nach gleichen Gesetzen ablaufend.

Wellen im Äther sind seither in weit verschiedenen Längen bekannt und herstellbar geworden. Die kilometer- bis zentimeterlangen, von elektrischen Oszillatoren ausgehenden Wellen schließen sich fast lückenlos in einer großen Wellen-Skala an die längsten ultraroten, von heißen

[1]) Dies, sowie der ganze Verlauf der Untersuchungen findet sich eingehend dargestellt von H. Hertz selbst in seinem zusammenfassenden Werk „Ausbreitung der elektrischen Kraft" (Leipzig, J. A. Barth, 2. Auflage, 1894).

Körpern ausgehenden Wellen und damit an die Wellen des sichtbaren Spektrums von Rot bis Violett, worauf die noch kürzeren, wieder unsichtbaren ultravioletten Wellen folgen, die im Licht elektrischer Funken und des elektrischen Bogens enthalten sind, und an welche wieder fast lückenlos die noch viel kürzeren Wellen der Hochfrequenzstrahlen („Röntgen-Strahlen") und endlich die Gamma-Strahlen der radioaktiven Körper sich schließen, deren Wellenlängen nur mehr einzelne Milliontelmillimeter betragen und die auch noch kürzer sein können.

Da die Richtigkeit von Maxwell's Gleichungen nun außer Zweifel war, war es auch klar, daß sie die Gültigkeitsgrenzen der früher gefundenen Einzelgesetze, wie z. B. des Coulomb'schen Gesetzes für die Kräfte zwischen Elektrizitäten, treffend angeben müssen: dies Gesetz bezieht sich nur auf ruhende Elektrizitäten, wie man nun leicht erkennt. Befindet sich z. B. eine Elektrizitätsmenge sehr nahe bei einem Oszillator, so wird sie mit Kräften angetrieben, die trotz der Bewegung der Elektrizitäten auf dem Oszillator einigermaßen richtig nach Coulomb's Gesetz berechnet würden; befindet sich die Elektrizitätsmenge aber um eine halbe Wellenlänge weiter weg vom Oszillator, so haben die Kräfte ihre Richtung umgekehrt; sie würden jetzt nach Coulomb's Gesetz nicht nur nach Größe, sondern auch nach Richtung falsch berechnet werden. Dies macht auch klar, daß „Fernkräfte", die durch Abstände fest bestimmt wären, hier überhaupt nicht vorhanden sind. Vielmehr breiten sich die Kräfte der Elektrizitäten, ausgehend von diesen, durch den Raum hin aus, wozu sie Zeit brauchen, und wenn auch die Ausbreitung mit Lichtgeschwindigkeit erfolgt, so werden doch bei sehr schnellen Bewegungen der Elektrizitäten, besonders wenn sie hin- und hergehend sind, wie bei den Schwingungen, die Verspätungen gut merklich. Dasselbe gilt auch von den magnetischen Kräften. Die Ausbreitung mit Verspätung ist es auch allein, die Wellen zustande kommen läßt, wenn Elektrizitäten schwingen. Dabei sind die Kräfte, wenn auch Coulomb's Gesetz ganz versagt, noch immer richtig durch Faraday's Kraftlinien dargestellt, nur muß man diesen Kraftlinien die Eigenschaft zuerkennen, quer zu ihrer eigenen Richtung mit Lichtgeschwindigkeit sich fortzubewegen. Wie dies im Einzelnen geschieht und welche Formen die Kraftlinien dabei annehmen, dies wird durch Maxwell's Gleichungen richtig angegeben, wovon Hertz im besonderen Falle des Oszillators möglichst eingehend sich überzeugt hat.

Man sieht, daß Maxwell's Gleichungen das Verhalten der elektrischen (und der magnetischen) Kraftlinien, ihre Formen, ihre Bewegungen auch unter verwickelten Umständen treffend beschreiben. Dabei

sind diese Kraftlinien Abbilder von Zuständen — Energieverteilungen, wie man jetzt weiß — im Äther, wonach Maxwell's Gleichungen geradezu als die Gleichungen des Verhaltens des Äthers erscheinen konnten, soweit dasselbe bis dahin bekannt war[1]). Dies mußte den Gedanken nahe legen, das Verhalten des Äthers an Hand dieser Gleichungen mit dem Verhalten der Materie eingehend zu vergleichen. Man weiß, daß auch in Flüssigkeiten und in Gasen Wellenausbreitung stattfindet — als Schall bekannt — und daß Flüssigkeiten und Gase auch Druckkräfte übermitteln können, die zu ihrer Ausbreitung ebenfalls Zeit brauchen. Um den Äther beispielsweise mit einer Flüssigkeit zu vergleichen, käme es darauf an, Maxwell's Gleichungen mit den Gleichungen der Hydrodynamik zu vergleichen und zuzusehen, ob etwa vollkommene Übereinstimmung stattfindet, wenn man beispielsweise die elektrischen Kräfte als Verschiebungen im Äther deuten wollte, oder ob etwa andere Deutungen zur Übereinstimmung führen. Die hierzu durchgeführten mathematischen Untersuchungen haben sämtlich zum Ergebnis geführt, daß zwar teilweise auffallend große Ähnlichkeiten zwischen Äther und Flüssigkeiten oder Gasen (oder auch festen Körpern) bestehen, daß jedoch vollkommene Übereinstimmung fehlt[2]). Man kann wohl etwa sagen, daß elektrische Kraftlinien auffallende Ähnlichkeiten mit Wirbelfäden, magnetische mit Strömungslinien in Flüssigkeiten oder Gasen zeigen — was eine gute Stütze für mancherlei Überlegungen geben kann —; man kann aber keinen materiellen Körper angeben, der ganz so wie der Äther der elektromagnetischen Kraftfelder und des Lichtes sich verhielte. Es ist damit klar geworden, daß Äther und Materie voneinander sehr verschiedene Dinge sind, daß ersterer nicht nur nicht aus den seit Dalton erkannten Atomen besteht, sondern daß er überhaupt keinerlei materiell gearteter Mechanismus ist, daß er sein eigenartiges, über die an der Materie gemachten Erfahrun-

[1]) Man muß hierzu freilich bedenken, was teils vergessen worden ist, daß Maxwell's Gleichungen nicht alle Kraftlinienwirkungen umfassen. Sie beziehen sich nur auf Erscheinungen an ruhenden Körpern; sie enthalten beispielsweise nicht den gewöhnlichen Fall der Induktion in einem quer durch ein homogenes Magnetfeld bewegten Leiter. Auch im Inneren der Atome genügen die Gleichungen nicht.

[2]) Besonders die tiefgehenden, schon vor dem Erscheinen von Maxwell's Werk begonnenen und auch außerhalb des Zusammenhangs mit demselben bedeutungsvollen Untersuchungen von Carl Anton Bjerknes, „Über hydrodynamische Fernkräfte", haben zur Klärung der Frage einer etwaigen materiellen Mechanik des Äthers viel beigetragen. Man sehe die „Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte nach C. A. Bjerknes' Theorie" von seinem Sohne V. Bjerknes (Leipzig, J. A. Barth, 1902). C. A. Bjerknes lebte 1825 bis 1903, war Professor der Mathematik in Christiania (Oslo).

gen hinausgehendes Verhalten hat, das man eben nur an ihm selbst studieren kann[1]).

Bei seinen Versuchen über elektrische Schwingungen und Wellen hatte **Hertz** fortdauernd auf kleine elektrische Funken zu achten, welche die Resonanz anzeigten. Dabei bemerkte er, daß die Funken länger ausfielen, wenn das Licht eines anderen, gleichzeitigen Funkens oder wenn überhaupt ultraviolettes Licht die Funkenstrecke traf. Er fand auch, daß es ganz oder vorwiegend die negative Elektrode war, auf deren Belichtung es ankam (1887). Damit war eine besondere Entdeckung gewonnen, deren Verfolgung heute ebenfalls schon ein großes Kenntnis-Gebiet ergeben hat, das der „**lichtelektrischen Wirkung**".

Wie stets, kam es vor allem darauf an, die neue Erscheinung in einfachster Form herzustellen, was sehr bald erfolgte[2]), und dann in möglichst reinen Versuchen ihr weiter beizukommen, was 11 Jahre später mit Hilfe der an den Kathodenstrahlen schon erlangten Kenntnisse geschah. Es zeigte sich, unter Ausschluß der Luft, so daß das ultraviolette Licht allein nur mit der Metallplatte zusammenwirkte, auf die es fiel, **daß das Licht freie Elektronen aus dem Metall zum Entweichen bringt.** Dies ist der Grundvorgang, aus dessen eingehendem Studium dann nicht nur die verschiedenen Erscheinungsformen der lichtelektrischen Wirkung auch in Luft und anderen Gasen verständlich wurden, sondern auch viel weitere Kenntnis hervorging.

Es sei zunächst erwähnt, daß die schon seit einem Jahrhundert bekannt gewesenen Erscheinungen der „**Phosphoreszenz**" nun endlich zu einem Verständnis kamen, nachdem G. **Stokes** vorher schon erkannt hatte (1853), daß diese Erscheinungen, wie auch die der „Fluoreszenz", in einer Lichtumwandlung innerhalb der betreffenden Körper bestehen, wobei die Brechbarkeit (Farbe) des Lichtes verändert wird. Es zeigte sich jetzt, nach Herstellung von „Phosphoren", die für reine Versuche

[1]) Sehr bemerkenswert hierzu ist **Tyndall**'s Schilderung seines Eindrucks von Faraday's Äußerungen über das Verhalten des Äthers, bezüglich der Kraftlinien. **Tyndall** sagt, **Faraday** brauche oft sonderbare, teilweise dunkle Wendungen, um dies Verhalten zu schildern, so als wäre er nicht imstande, sich der Redeweise zu bedienen, die den in Mechanik Bewanderten klar wäre (Tyndall, „Faraday as a discoverer", London 1870, S. 88). **Tyndall** würde jetzt wohl sagen können, daß **Faraday**'s Äußerungen um so treffender sind, als jene von ihm nicht gebrauchte Redeweise überhaupt nicht geeignet sein könnte, der Wirklichkeit zu entsprechen. Es ist nur der immer noch erst auszurottende Stoffwahn (Materialismus) gewesen, der **Faraday**'s treffenden Äußerungen nicht zu folgen vermochte.

[2]) Es gelang dies 1888 **Wilhelm Hallwachs** (lebte 1859—1922, war zuletzt Professor an der Technischen Hochschule in Dresden).

geeignet waren, daß das erregende Licht aus den Metall-Atomen der Phosphore Elektronen befreit, bei deren Rückkehr das Nachleuchten in der veränderten Farbe stattfindet, die dem betreffenden Metall im Phosphor eigen ist. Damit war wahrscheinlich geworden, daß Leuchterregung und Lichtaussendung überhaupt — z. B. auch bei den Metallatomen in der Bunsenflamme — mit Elektronen-Verschiebungen zusammenhängt[1]), und dies hat dann besonders nach Hinzunahme der Kenntnisse vom Aufbau der Atome und von deren quantenmäßigem Arbeiten alle Vorgänge von Lichtemission und deren Erregung dem Verständnis ein gutes Stück nähergerückt.

Außerdem hat die lichtelektrische Wirkung zum ersten Mal Kathodenstrahlen sehr geringer Geschwindigkeiten — langsame Elektronen — zu reinen Versuchen im Vakuum zur Verfügung gestellt. Man lernte sie durch hinzugeschaltete elektrische Kräfte beliebig beschleunigen oder verzögern, wie die schnellen Elektronen, aber auch ganz zum Stillstand und zur Rückkehr bringen, so daß überhaupt kein dauerndes Entweichen stattfindet. Alles dies ist auch in Anwendungen wichtig geworden, die ganz neue Möglichkeiten eröffneten: Vollständige Gleichrichtung von Wechselströmen, fast beliebige Verstärkung schwächster Wechselströme (in den Rundfunkempfängern), Erzeugung ungedämpfter elektrischer Schwingungen (für die Rundfunksender). Für diese Anwendungen war es wichtig, daß es gelang, diese langsamen Elektronen in vollständigem Vakuum auch auf noch einfachere Weise und zugleich sehr ergiebig frei zu machen, nämlich durch „glühelektrische Wirkung". Es war lange bekannt, daß glühende Körper Elektrizität entweichen lassen; jedoch, solange die Beobachtungen nur in Luft möglich waren, kam man zu keinen aufklärenden Ergebnissen. Es waren auch hier erst reine Versuche unter Ausschluß der Verwickelungen, die die Gegenwart von Gas mit sich bringt, erforderlich. Daß diese Versuche erst so spät möglich wurden, dies liegt daran, daß fast alle glühenden Körper fortwährend viel Gas aus sich abgeben und dadurch das Vakuum verderben; nur Wolfram — spät als geeignet aufgefunden (1913) — tut dies nicht und ermöglichte vollkommen reine Versuche und damit auch die Sicherung der genannten Anwendungen, wofür dann die an der lichtelektrischen Wirkung gemachten Erfahrungen schon zur Hand waren.

Unmittelbare Anwendung erfährt die lichtelektrische Wirkung als Mittel der Betätigung elektrischer Kräfte durch Licht, wie z. B. beim Fernsehen.

---

[1]) Fast gleichzeitig haben auch Studien an den „Kanalstrahlen" denselben Gedanken nahegerückt. Historische Angaben hierzu habe ich bei früherer Gelegenheit zusammengestellt. („Quantitatives über Kathodenstrahlen", Neuherausgabe 1925, S. IV u. V.)

Die Entdeckung der lichtelektrischen Wirkung durch Hertz kam überraschend; elektrisierte Körper und die Möglichkeit, sie ultraviolett zu belichten, waren schon seit $^3/_4$ Jahrhunderten vorhanden, doch Niemand war da, der gezeigt hätte, daß damit noch Verborgenes zu finden sei. Auch Hertz kam zur Entdeckung nur durch Beschäftigung mit Gedanken, die aus Faraday's — des immer zuversichtlich im Unbekannten Suchenden — großem Vorrat geschöpft waren.

Heinrich Hertz war Sohn eines Rechtsanwaltes und Hamburger Senators jüdischer Abstammung; von mütterlicher Seite hatte er arisches Blut[1]). Er besuchte die Schulen seiner Vaterstadt, studierte dann zuerst technische Wissenschaften, entschloß sich aber bald ganz der Physik sich zu widmen[2]). Nach drei Studienjahren in München und Berlin wurde er Assistent bei Helmholtz in Berlin, habilitierte sich drei Jahre später in Kiel und erhielt schon nach zwei weiteren Jahren — nachdem er eine Reihe von Arbeiten aus verschiedenen Teilen der Physik veröffentlicht hatte — einen Ruf als ordentlicher Professor an die Technische Hochschule in Karlsruhe. Dort führte er seine Untersuchungen über die elektrischen Wellen aus; auch hatte er sich bald verheiratet. Im Jahre 1889 folgte er einem Rufe nach Bonn als Nachfolger von Clausius. Dort entstand sein eigenartiges Werk über die „Prinzipien der Mechanik, in neuem Zusammenhange dargestellt", in welchem plötzlich — beim damaligen Mangel an Rassenkunde trügend — stark jüdischer Geist zum Durchbruch kam, der in Hertz' früheren, fruchtbaren Arbeiten mehr verborgen geblieben war[3]). Seit 1892 stellte sich ein hartnäckiges Leiden ein, das ihm im Alter von nur 37 Jahren durch Blutvergiftung den Tod brachte.

Friedrich Hasenöhrl
(1874—1915).

Schon seit Faraday's Entdeckung der Selbstinduktion konnte diese Erscheinung wie eine Trägheitswirkung aufgefaßt werden. Denn der elektrische Strom in einem Draht verhält sich infolge der Selbstinduktion wie ein Wasserstrom in einem Rohr. Beim Ingangsetzen tritt eine Verzögerung ein — beim elektrischen Strom infolge des

[1]) S. die Stammtafel in der Reichssiegerarbeit der Karlsruher Studierenden, 1937/38.

[2]) Man vergleiche zum Folgenden „Heinrich Hertz, Erinnerungen, Briefe, Tagebücher", zusammengestellt von seiner Tochter Dr. Johanna Hertz (Leipzig, Akadem. Verlag).

[3]) Arischer und jüdischer Geist äußerten sich bei Hertz oft merkwürdig unvermittelt nebeneinander, in den spätesten Jahren der letztere überwiegend.

entgegengerichteten Schließungs-Extrastromes, beim Wasserstrom infolge der Trägheit des Wassers —, und beim Unterbrechen des Stromes äußert sich ein Streben zum Weiterfließen — wieder infolge von Extrastrom im Draht, von Trägheit beim Wasser. Doch durfte diese Trägheitserscheinung beim elektrischen Strom nicht oder nicht in der Hauptsache als Trägheit der Elektrizität im Drahte gedeutet werden. Denn die Größe der Trägheit — der Selbstinduktion — ist im selben Draht sehr verschieden, je nach Art seiner Aufwickelung und seiner Umgebung; sie ist z. B. in einer Drahtspule viel größer, als wenn derselbe Draht geradlinig ausgespannt ist, und sie wird noch viel größer, wenn in die Spule Eisen gebracht wird. Wollte man die Selbstinduktion als Trägheitserscheinung auffassen, so mußte dementsprechend die träge Masse nicht im Stromleiter, wohl aber in den zum Strom gehörigen Kraftlinien gesucht werden; denn diese sind für die Selbstinduktion maßgebend. Diese Auffassung lag solange einigermaßen fern, als Faraday's Vorstellung von den Kraftlinien noch als nebensächlich erscheinen konnte; sie wurde aber plötzlich nahe gerückt, als Hertz' Ergebnisse eben diese Kraftlinien ganz unzweifelhaft als Abbilder von Raum-(Äther-) Zuständen gezeigt hatten, die das tatsächlich Wesentlichste aller elektrischen und magnetischen Vorgänge ausmachen. Von da ab mehrten sich die Versuche, Trägheit (Masse) mit Selbstinduktion, d. i. mit den durch Faraday's Kraftlinien dargestellten Gebilden oder Zuständen im Äther in Verbindung zu bringen, derart, daß vielleicht sogar alle Trägheit — alle Masse —, auch die der gewöhnlichen materiellen Körper, nur als Masse elektromagnetischer Kraftfelder nachweisbar sein könnte.

Diese Bestrebungen haben festen Anhalt erlangt, als man überhaupt nicht mehr den der Erfahrung bisher nur allzu unvollkommen zugänglichen Äther, sondern die durch Robert Mayer's wohlbegründetes und inzwischen fortwährend bewährtes Erhaltungsgesetz festgelegte Energie — eine trotz der großen Verschiedenheit der Formen, die sie annimmt, in allen Fällen scharf meßbare Größe — mit Trägheit — Masse — in Verbindung zu bringen suchte. Statt der Kraftlinien die mit ihnen verbundene Energie ins Auge zu fassen, dies war bereits dadurch gegeben, daß elektromagnetische Energie aus dem Verlaufe der elektrischen und magnetischen Kraftlinien berechenbar ist, wobei jedem Raumelement, in welchem Kraftlinien laufen, ein bestimmter Anteil der Energie zukommt, so daß die Energie tatsächlich in den Kraftlinien verteilt erscheint. Man durfte daher jedenfalls versuchen, die Energie des Kraftlinien-Feldes eines elektrischen Stromes, oder bewegter Elektrizität überhaupt, diejenige Masse (Trägheit) zuzuschreiben, welche in der Selbstinduktions-Erscheinung auftritt. Damit war der

Gedanke aufgetaucht, daß Energie — mindestens die elektromagnetische — Masse habe, daß sie träge sei, ein Sträuben gegen Geschwindigkeitsänderungen habe.

Man versuchte zunächst, den Gedanken für den einfachen Fall eines bewegten Elektrons — d.h. reiner Elektrizität ohne Materie — durchzuführen, was mittels Maxwell's Gleichungen geschehen konnte; jedoch die Notwendigkeit, dabei bestimmte, über die vorhandene Erfahrung hinausgehende Annahmen über die Elektronen zu machen, verhinderte das Vordringen zu einem gesicherten Ergebnis. Erst Hasenöhrl war es, der das zu wenig bekannte Elektron beiseite ließ und an diejenigen elektromagnetischen Felder sich wandte, die sowohl ohne Materie als auch ohne Elektrizität bestehen können. Dies waren die Kraftfelder der von Hertz verwirklichten elektrischen Wellen, von denen auch bereits bekannt war, daß sie nach Maxwell's Gleichungen sich verhalten. Daß diese Wellen Energie tragen, wie alle Ätherwellen beliebiger Wellenlänge, auch die des Lichtes, ist außer Zweifel; die Energie kann nach Absorption der Strahlung durch einen geeigneten Körper stets als Wärme gemessen werden. Es kam darauf an, die Masse dieser Energie in dem zweifelsfreien Falle dieser Wellen zu berechnen. Hasenöhrl führte dies mittelst eines Gedankenversuches mit einem Hohlraum aus, der von Ätherwellen erfüllt sei und dem eine Beschleunigung erteilt werde. Überlegungen, bei welchen Maxwell's Lichtdruck — Strahlungsdruck —, ausgeübt von der im Hohlraum eingeschlossenen Strahlung auf dessen Wände, eine wesentliche Rolle spielt, gestatteten die Berechnung des Trägheits-Anteiles der eingeschlossenen Strahlung, d.i. der Masse der Energie dieser Strahlung. Diese Masse ergibt sich (in Grammen) gleich der Energiemenge (gemessen in Gauß' absoluter Einheit) dividiert durch das Quadrat der Lichtgeschwindigkeit[1]). Dies ist Hasenöhrl's wichtiges und höchst bemerkenswertes Ergebnis.

[1]) Hasenöhrl's Gedankenversuch und zugehörige Rechnung („Berichte der Wiener Akademie", Bd. 113, 1904, und „Annalen der Physik", Bd. 15, 1904 und Bd. 16, 1905) ist einigermaßen verwickelt. Ich habe Wert auf äußerste Vereinfachung gelegt („Äther und Uräther", Leipzig 1922, S. 41, 42, und auch von anderer Seite ist dies, wie ich später fand, schon vor mir — aber nach Hasenöhrl — geschehen), wobei aber immer Maxwell's Strahlungsdruck die Hauptsache bleibt. Solche Vereinfachung des Weges zu einem bereits gefundenen Ergebnis ist natürlich verhältnismäßig leicht zu bewerkstelligen; sie vermehrt aber, ja eröffnet erst die Einsicht in das Wesentliche. Es erscheint übrigens bei Hasenöhrl noch der Faktor $^4/_3$ zur Masse der Energie, den wir oben — als der Einheit nahe und entsprechend dem Ergebnis der vereinfachten Überlegung — wegließen; solche Faktoren, welche bei der Neuheit der Sache nicht gleich anfangs mit vollständigster Annäherung an die Wirklichkeit berechnet werden, treten auch in verwandten Fällen, wie in der kinetischen Gastheorie auf. Et-

Damit war die Masse der elektromagnetischen Energie zum ersten Mal in gut gegründeter Weise berechenbar geworden. Es war aber ohne weiteres anzunehmen, daß diese Berechnung für jede Form von Energie gelten werde; denn es müßte sonst bei den steten Verwandlungen der Energie Masse verloren gehen oder neu auftreten, und dies würde den Erfahrungen der Mechanik widersprechen. Klein sind allerdings die Massen der unter gewöhnlichen Umständen verfügbaren Energien; denn das bei der Berechnung ihrer Größe maßgebende Quadrat der Lichtgeschwindigkeit bedeutet einen außerordentlich kleinen Bruchteil. Immerhin verliert aber beispielsweise die Sonne in Gestalt der Energie ihrer Strahlung in jeder Sekunde mehr als 5 Millionen Tonnen Masse, wovon etwa 2 Kilogramm auf die Erde fallen, die genügen, um hier alle bekannten Energieleistungen (mit Ausnahme der vulkanischen und der Ebbe- und Flut-Bewegungen) zu vollbringen. Nimmt man Hasenöhrl's Ergebnis als für alle Formen der Energie gültig an, so ist es um so bedeutungsvoller, als nun Energie ganz wie ein Stoff erscheint: sie ist nicht nur, wie schon nach Robert Mayer, in ihrer Menge unveränderlich, sondern sie besitzt auch Masse. Mit oder ohne diese Verallgemeinerung auf alle Energieformen war Hasenöhrl's Ergebnis so gut begründet, als es je bei einer neuen Naturerkenntnis möglich ist, die stets noch fortlaufender Nachprüfung in Anwendung bedarf, bis sie genügend weitgehend gesichert ist und bis endlich auch ihre Gültigkeitsgrenzen genügend erkennbar werden. Die Anwendungen sind heute schon weitgehend vorgeschritten — wenn auch so gut wie immer unter fremdem Namen —; es ist dabei nicht nur bisher nirgends ein Widerspruch mit Tatsachen aufgetreten, sondern vielmehr eine besondere Bestätigung. Ja es war Hasenöhrl's Ergebnis sogar noch zu erweitern dahin, daß mit der Masse der Energie auch ein entsprechendes Gewicht derselben verbunden ist, daß also Energie der Gravitation unterworfen ist, wie alle Massen, und ferner sogar, daß wohl auch die Massen der greifbaren, materiellen Körper nur als Energiemassen und die Gewichte dieser Körper als Gewichte ihres Energieinhaltes anzusehen sind.

Hierzu sei Folgendes bemerkt:

Die besondere Bestätigung war durch schnelle Kathodenstrahlen erhalten worden. Nimmt man kinetische Energie ebenfalls als mit Masse begabt an, wie die elektro-magnetische Energie der Lichtwellen, so muß die Gesamtmasse eines bewegten Körpers steigen, wenn seine Geschwindigkeit durch Energiezufuhr

waige Unsicherheit in denselben stört nicht das große Hauptergebnis, und sie kann später beseitigt werden, mag dabei auch wieder Neues erkennbar werden.

gesteigert wird, und zwar muß der Massenzuwachs gleich sein der Masse der zugeführten kinetischen Energie. Berechnet man hiernach den Massenzuwachs auf Grund von Hasenöhrl's Ergebnis mit Hinzunahme von Newton's zweitem Bewegungsgesetz[1]), so findet man, daß der Zuwachs nur bei sehr großen Geschwindigkeiten, die schon der Lichtgeschwindigkeit nahekommen, gut merklich würde; bei Lichtgeschwindigkeit würde er sogar unendlich groß werden. Um prüfen zu können, ob der berechnete Zuwachs in Wirklichkeit vorhanden ist, waren daher mit sehr großer und nach Willkür noch zu steigernder Geschwindigkeit versehene Massen erforderlich. Solche waren in den Kathodenstrahlen gegeben, die schnell bewegte Elektronen sind. Es wurden in fortdauernd verfeinerten, schwierigen Messungen Geschwindigkeiten untersucht, die der Lichtgeschwindigkeit bis auf wenige Hundertteile nahekamen, und es wurde ganz der Massenzuwachs gefunden, welcher der berechneten Masse der kinetischen Energie entspricht[2]). Dies ist zugleich der besondere Erfahrungs-Anhalt dafür, daß die Massenberechnung der Energie wohl für alle Formen derselben gilt, ebenso daß Newton's Grundgesetz der Bewegung nicht nur für Materie, sondern auch für die nichtmateriellen Massen der Energie gilt, was nachher auch weiter sich bestätigt hat. Auch ist damit gezeigt, daß die Lichtgeschwindigkeit von einem Elektron (und also wohl auch von der aus elektrischen Elementarquanten aufgebauten Materie) nicht überschritten werden kann; denn es würde schon zur Erreichung der vollen Lichtgeschwindigkeit ein unendlich großer Energie-Aufwand erforderlich sein.

Die schon von Newton erkannte Proportionalität von Masse und Gewicht legte die Frage nahe, ob auch die Massen der Energie ein dieser Proportionalität entsprechendes Gewicht haben, ob also die Energie der Gravitation unterliege. Diese Frage ist auf zwei Wegen bejahend beantwortet. Einerseits ist eine Ablenkung des am Sonnenrand vorbeigehenden Lichtes von Fixsternen bei Sonnenfinsternissen beobachtet worden. Die Lichtstrahlen werden gegen die Sonne hin gekrümmt und zwar — soweit die schwierigen und durch

[1]) Ich habe die sehr einfache Rechnung besonders durchgeführt („Äther und Uräther", Leipzig 1922, S. 48, 49), um den meist aufrecht gehaltenen Anschein, es sei eine besondere, sehr verwickelte und undurchsichtige, nach Hasenöhrl entstandene „Theorie" dazu nötig, wo möglich zu zerstören. Nachträglich fand ich, daß auch Hasenöhrl schon die einfache Rechnung angibt („Stark's Jahrbuch", Bd. 6, S. 501, 1909), wobei er sich auf einen Autor beruft, der sie (schon 1908) nach seiner grundlegenden Veröffentlichung von 1904 durchgeführt hat. Um so sonderbarer ist es, daß auch heute noch bei Benutzung der hierhergehörigen Ergebnisse fast regelmäßig Hasenöhrl's nicht gedacht wird.

[2]) Hasenöhrl's Faktor $^4/_3$ war dabei, wie auch die vereinfachte Betrachtung aus dem Lichtdruck zeigte, durch 1 zu ersetzen.

Strahlenbrechung in der Sonnenatmosphäre stets beeinflußten Beobachtungen es zeigen können — etwa in dem Maße, wie es für irgendeinen der Gravitation unterworfenen, mit Lichtgeschwindigkeit am Sonnenrand vorbeigeschleuderten Körper zu erwarten ist. Die Energiemassen des Lichtes zeigen also, soweit hierbei zu sehen, die gleiche Gravitation wie die Massen aller schweren Körper. Andererseits — und ganz zweifelsfrei — wurden radioaktive Stoffe, wie Uran, als



Bild 70. Friedrich Hasenöhrl.

Pendelkörper benutzt, so daß an ihnen, wie schon in Galilei's und Newton's Pendel-Versuchen die Proportionalität von Masse und Gewicht geprüft werden konnte, und sie hat sich bestätigt. Dabei besteht ein gut merklicher Teil der Masse der ausgiebig radioaktiven Atome unzweifelhaft aus Energie; denn diese Atome geben große Mengen von Energie in Gestalt ihrer Strahlungen und ihrer steten Wärmeentwickelung fortdauernd ab. Besäße dieser Teil der Masse der Atome nicht auch das entsprechende Gewicht, so hätte sich bei den Pendelversuchen eine Abweichung zeigen müssen, die aber ausblieb.

Nach diesen, im Anschluß an Hasenöhrl's Vorgehen erhaltenen Ergebnissen verhält sich Energie durchaus wie ein Stoff. Sie ändert nach Robert Mayer ihre Menge nicht, sie besitzt Trägheit und besitzt entsprechendes Gewicht. Es war danach naheliegend, auch ihrer Verteilung im Raume in jedem einzelnen Falle nachzugehen, und dies ist jetzt ohne weiteres durchführbar. Man findet, daß Energie in allen ihren Formen stets nur in elektromagnetischen Kraftfeldern sitzt. Damit ist auch die Annahme gerechtfertigt, daß die ganze Masse aller Stoffe, aller Atome, auch der nicht-radioaktiven, nur Energiemasse sei, daß also auch alles gewöhnliche Gewicht nur Energie-Gewicht ist. Denn die Erfahrungen an den Kathodenstrahlen haben starke elektromagnetische Kraftfelder im Inneren aller Atome gezeigt, und selbst die Zentren dieser Kraftfelder, die negativen und positiven Elementarquanten der Elektrizität, sind an sich schon als Energie-Anhäufungen anzusehen. Wohl nicht zu bezweifeln ist es auch, daß die nahe Ganzzahligkeit der Atomgewichte[1]) ihre Ursache in der Ganzzahligkeit des Gehaltes der Atome an Elementarquanten-Paaren — „Dynamiden" — hat, während die — meist geringen — Abweichungen von den ganzen Zahlen auf Verschiedenheiten des Energieinhaltes und also auch des Gewichtes der elektromagnetischen Felder der Paare beruhen. Das Wasserstoffatom — das leichteste — hat eine Dynamide; die anderen Atome haben deren so viele als das Atomgewicht angibt.

Als Ergebnis ist daher bis jetzt zu sehen, daß Gravitation und Trägheit Eigenschaften sind, die ganz der Energie und nur ihr zugehören. An der Materie wurden diese Eigenschaften nur deshalb zuerst gefunden, weil deren Atome so sehr große Anhäufungen von Energie sind.

Betrachtet man hiernach Äther und Materie — diese beiden, nach den früheren Kenntnissen die materielle Welt zusammensetzenden Stoffarten —, so ist der Materie ihre bisher gedachte Besonderheit gegenüber dem Äther genommen. Materie erscheint nach den soeben zusammengefaßten Erkenntnissen nur als ein Sonderfall von Energie, und es sind jetzt nicht Materie und Äther, sondern vielmehr Energie und Äther nebeneinander zu stellen.

Von der Materie ist zu sagen, daß ihre Atome ungeheuer große Anhäufungen von Energie sind, die indessen in ihnen größtenteils sehr gut verwahrt bleibt. Nur die schwersten, die radioaktiven Atome geben selbsttätig Energie ab und zerfallen dabei. Der größte Teil

[1]) Mit Berücksichtigung der „Isotopen", d. i. der Nichteinheitlichkeit der Atome auch ein und desselben Grundstoffes.

der Energie mit ihrer Masse ist stets in sehr kleinem Raume, im Innersten (dem „Kern") des Atoms verdichtet. Trifft dorthin eine energiereiche Strahlung, so kann Verwandlung des Atoms in ein anderes stattfinden. In ihren äußeren Teilen können alle Atome abwechselnd Energie aus ihrer Umgebung aufnehmen und wieder nach außen abgeben — ohne wesentlich geändert zu werden —, wobei sie, wie nach Boltzmann gefunden, quantenmäßig verfahren. Als wesentlich kennzeichnend für die Materie bleibt immer die positive Elektrizität; sie ist Urbestandteil aller Atome. Sie sitzt im Atominnersten (dem „Kern"), wo die positiven Teile sämtlicher Dynamiden des Atoms vereinigt sind. Diese positiven Teile haben im Gegensatz zu den negativen — den Elektronen — sehr große Masse, über 1000-fache Elektronenmasse; sie können daher sehr wohl etwas Zusammengesetztes sein, weshalb man sie lieber nicht als positive Elementarquanten, sondern mit dem besonderen Namen „Protonen" bezeichnet.

Überblickt man die von Huygens bis Hasenöhrl am Äther gemachten Erfahrungen, so bemerkt man noch immer große Unvollkommenheit der Kenntnis[1]). Ursprünglich, bei Huygens, erschien der Äther als das Medium, in welchem die Wellen des Lichtes laufen, wovon die Kenntnis durch Young, Fraunhofer und Fresnel sehr weitgehend gefördert worden ist. Dann, durch Faraday, Maxwell und Hertz, wurde er — allgemein — als das Medium aller elektromagnetischen Kräfte erkannt, die auch in den Lichtwellen das Wesentliche sind. Später haben die seit Fresnel fortdauernd verfeinerten Interferenzversuche[2]), sowie Beobachtungen an Doppelsternen und eingehende Betrachtung der Induktionserscheinungen[3]) gezeigt, daß der Äther nicht im ganzen Himmelsraum einheitlich ruhend oder bewegt angenommen werden kann, sondern daß jedem Himmelskörper, wie der Erde, ja jedem Atom der Materie sein eigener Äther zugehört, der

[1]) Das Dasein des Äthers ist gesichert nachgewiesen: Er regelt im Himmelsraum die dort schon von Römer nachgewiesene bestimmte Geschwindigkeit der Lichtwellen, die unabhängig von Bewegungen der Quelle laufen, wie die Schallwellen in der Luft, und er hat auch sonst genügend sich gemeldet (s. dazu eingehend „Deutsche Physik", besonders Bde. III u. IV). Man darf noch vorhandenen Kenntnismangel in Einzelfragen über den Äther nicht mit Unsicherheit seines Vorhandenseins verwechseln! Daß dies geschieht, teils sogar in Schulbüchern, ist eine Geistesschwäche gegenüber einem Juden, der viel Lärm mit seinen wirren Gedanken gemacht hat.

[2]) Besonders der „Michelson-Versuch" ist damit gemeint; aber auch andere, elektromagnetische Versuche gehören dazu, die schon öfter zusammengestellt worden sind, wie ich es in besonderer Weise auch in „Äther und Uräther" getan habe (Leipzig 1922). Der Anfang aller dieser Versuche geht auf Maxwell zurück (siehe „Nature", 29. Jan. 1880, S. 314 f.).

[3]) S. darüber „Deutsche Physik", Bd. IV, 2. Aufl., Abs. 405.

dessen Bewegungen mitmacht. Endlich können seit den durch Hasenöhrl angebahnten Fortschritten neue Ergebnisse — oder Fragen — über den Äther zu weiterer Untersuchung hingestellt werden: Ist es nicht gegeben — wenn jedes Atom seinen eigenen Äther hat —, jeder Energiemenge ihren eigenen Äther-Anteil zuzuschreiben, als stets mitgeführt, gleichgültig ob es Energie innerhalb oder außerhalb von Materie ist? Und ist dann der Äther nicht überhaupt nur ein Anhängsel von Energie, das jede Energiemenge bis in weite Umgebung begleitet, mit allmählicher Abschwächung wohl so weit reichend, als die Gravitationswirkung der Energiemenge reicht, d. i. — so viel man weiß — unendlich weit? Ist damit aber nicht auch unmittelbar ersichtlich geworden, was schon seit Newton zu bestaunen war: daß jedes Atom mit seiner Gravitationswirkung jederzeit überall gegenwärtig ist? Auch jeder Lichtstrahl würde dann — entsprechend seinem Energiegehalt — seinen eigenen Äther mit sich nehmen, mit diesem mit Lichtgeschwindigkeit durch den umgebenden Äther laufend. Ein einheitliches, gleichmäßig den Raum erfüllendes Medium ist damit der Äther keineswegs; doch ist immer noch aller Raum von Äther erfüllt. Der fern von allen Gestirnen im Himmelsraum vorhandene „Uräther", dort bestimmend für die Lichtgeschwindigkeit, wäre die Gesamtheit aller, dort einigermaßen gleichvertretenen Ätheranteile der ringsum vorhandenen Energien (Massen). — Raum und Äther erscheinen nach Bedenken solcher Einzelheiten noch weniger identisch als je vorher. Der Äther ist nicht Raum; als das Geheimnis des Raumes kann er bezeichnet werden, besonders wenn die durch Geist bedingten, doch auch im Raume ablaufenden Lebenserscheinungen zusammen mit dem stets einheitlich befundenen Verhalten von Allem in der Natur mitbedacht werden[1]).

Man bemerkt, daß die ersichtlich gewordenen Zusammenhänge von Raum, Äther, Energie — zu welcher auch die Materie gehört — und Gravitation wieder nur die Fülle des Unbekannten zeigen, welche uns umgibt, nur um einen kleinen Teil seit Pythagoras' Zeiten vermindert. Aber eben daß jene Fragen — dank Hasenöhrl — überhaupt in so bestimmter Weise gestellt werden können, dies bedeutet schon Anfänge wieder neuer Fortschritte, die künftige große Forscher beschäftigen werden und die — sobald nur die Natur selber wieder mitspricht — ohne Zweifel wieder Überraschungen, vielleicht sehr ungleich unseren Vermutungen aussehend, bringen werden, wie es schon Jahr-

[1]) Eingehend begründet und in allen Gebieten der Physik durchgeführt findet man diese neueren Erkenntnisse in der „Deutschen Physik" (4 Bde., 3. Aufl. 1940—1943).

hunderte hindurch unter den Händen der Großen, deren Wirken wir betrachtet haben, geschehen ist.

Friedrich Hasenöhrl wurde — wie Boltzmann — in Wien geboren; sein Vater war Jurist, seine Mutter stammte aus einer alten Offiziersfamilie. Er kam zuerst in eine adelige Erziehungsanstalt, später ins Gymnasium und studierte dann an der Universität seiner Vaterstadt Naturwissenschaften und Mathematik, besonders als Schüler von Stefan und Boltzmann. Schon vor Abschluß des Universitäts-Studiums hatte er mehrere mathematische Untersuchungen vollendet, die den Beifall seiner Lehrer fanden, später auch einige experimentelle Arbeiten. Bald gründete er eine Familie, worauf er als Privatdozent in Wien sich niederließ. Nach 6 Jahren wurde er zum Professor an der Wiener Technischen Hochschule ernannt, wenig später aber zu Boltzmann's Nachfolger an der Universität. Nur durch 8 Jahre war es ihm vergönnt, nun unter günstigsten Umständen zu wirken; dann brach 1914 der große Krieg aus. Hasenöhrl meldete sich freiwillig zur Dienstleistung fürs Vaterland. Er war überall vornan, zuerst bei der Verteidigung von Przemysl, dann in den Tiroler Bergen, die er kannte und sehr liebte. Durch einen Gewehrschuß verwundet, zog er, notdürftig geheilt, alsbald wieder hinaus und fiel stürmend schon im zweiten Kriegsjahr, nur 41 Jahre alt, bei Vielgereuth. Er war von einfachem, sehr gutmütigem und bescheidenem Wesen. Nur wo es galt sich zu opfern, war er vornan zu finden; wo Verdienste ersichtlich zu machen waren, stellte er sich in den Hintergrund, auch wenn er der Erstbeteiligte war, wie es in seinen Schriften in erstaunlicher Weise zu sehen ist. Er liebte Musik und seine Geige wie Galilei seine Laute; das Familienleben war ihm teuer und er war so äußerst bescheiden und für jede kleinste Leistung Anderer eingenommen wie Kepler; die Alpen waren ihm — wie Tyndall — geweihte Erholungsstätte; in seinen Arbeiten findet man die Gründlichkeit Stefan's und Boltzmann's.

Namen-Verzeichnis.

Hauptstellen über Lebensumstände und Arbeit finden sich jeweils unter den vorangestellten Seitenzahlen.

Verzeichnis der behandelten Gegenstände.

Bücher

aus J. F. Lehmanns Verlag, München

Germanische Himmelskunde. Untersuchungen zur Geschichte des Geistes. Von Otto Sigfried Reuter. 1934. 767 Seiten mit 86 Abbildungen und Karten. Herausgegeben mit Unterstützung der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft. Geh. RM. 40.—, Lwd. RM. 42.—.

„Vorweg sei gesagt, daß wir es hier mit einem dringend notwendigen und zugleich ausgezeichneten Werk zu tun haben. Wohl den allermeisten Astronomen dürften die über 700 Textseiten eine Fülle neuer Dinge bringen. — Es ist die inhaltreiche Frucht langjähriger Kleinarbeit längs einer großen Linie. Es trägt auf einem wichtigen Teilgebiet Wesentliches bei zur Aufhellung der Geisteshaltung unserer Vorfahren, in ganz ähnlicher Art, wie es für eine noch mehr zurückliegende Zeit die Ausgrabungen der letzten Jahrzehnte brachten."
Prof. J. Hopmann in der Vierteljahrsschrift der Astronomischen Gesellschaft.

Ernst Haeckels Bluts- und Geistes-Erbe. Mit zwei Sippschaftstafeln und 12 Bildern. Von Heinz Brücher. Mit einem Geleitwort von Präsident Prof. Dr. K. Astel, Thüringisches Landesamt für Rassewesen, Weimar. 1936. Geh. RM. 8.80, Lwd. RM. 10.—.

„Das Buch schlägt als Biographie im Ergebnis sehr erfolgreiche, vom rassischen Denken gebotene Wege und Untersuchungsmethoden ein. Erst nachdem uns Ahnen und Sippschaft, aus deren verschiedener Qualität die Eigenentwicklung Haeckels erst voll zu erfassen ist, in sorgsam überprüfter Schau vorgestellt sind, erwächst vor uns die Leistung Haeckels selbst. So ist das Buch Brüchers in seltener Weise dazu angetan, die Schuld, die wir alle durch Nichtwissen gegenüber dem Vermächtnis des ‚Ketzers von Jena' tragen, gutzumachen. Darüber hinaus wird mit Haeckels Leben vor uns ein Zeitabschnitt aus der deutschen Kulturgeschichte lebendig, dem wir als Nationalsozialisten viel an Vorbereitung unseres Denkens zu danken haben." NS.-Monatshefte.

Die Gleichrichter-Resonanztheorie. Eine Erweiterung der Helmholtzschen Resonanztheorie des Gehörs durch physikalische Untersuchung der Flüssigkeitsschwingung in der Kochlea. Von O. F. Ranke. 1931. Mit 10 Abb. RM. 5.—.

„Verfasser untersucht, ausgehend von der Frankschen Theorie der Pulswellen, die Schwingungen, die in der Schnecke des menschlichen Gehörgangs auftreten können. Durch Klärung der Wellenvorgänge in dem physikalisch sehr schwierigen Gebiet der Kochlea wird ein verhältnismäßig vollständiger Überblick über die Physik der Kochlea erreicht. Das Buch ist für den Physiologen und Physiker äußerst interessant." Münchener Mediz. Wochenschrift.

Wunder und Geheimnis. Von Dr. med. Hellmuth Unger. 1935. Kart. RM. 2.40, Lwd. RM. 3.40.

Mit diesem kleinen besinnlichen Buch läßt uns der Verfasser, Arzt und Dichter, Einblicke tun in die Wunder und Geheimnisse unseres Daseins und unserer Umwelt. Ob wir mit ihm die Geheimnisse des Blutes zu ergründen suchen oder dem merkwürdigen Zug der Aale zum Sargasso-Meer nachspüren, die Flugstraßen der Zugvögel beobachten oder uns von der Welt der Sterne erzählen lassen, immer wird uns ein Blick ins Unergründbare aufgetan.
